



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**SLOUPOVÝ JEŘÁB MOBILNÍ S NOSNOSTÍ 600KG**

PILLAR JIB CRANE WITH A LOAD CAPACITY 600 KG

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Tomasz Wojnar**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.**

**BRNO 2017**

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Bc. Tomasz Wojnar</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Sloupový jeřáb mobilní s nosností 600kg

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh sloupového jeřábu pro manipulaci s obrobky ve výrobní hale.

Technické parametry:

Nosnost jeřábu	600 kg
Vyložení otočného ramene	3 m
Max. úhel otáčení	360°
Zdvihový mechanismus	kladkostroj
Ovládání zdvihu kladkostroje	elektrické
Ovládání pojezdu kladkostroje	elektrické
Pracovní zdvih	3000 mm
Manipulace se sloupovým jeřábem	ruční
Otáčení ramene	ruční
Umístění jeřábu s kladnicí	hala
Teplota okolí	0° až +30°C
Napětí sítě	3 x 400 V, 50 Hz
Manipulační prostředek neodnímatelný jednoduchý kovaný hák s pojistkou	

#### Cíle diplomové práce:

- návrh a volba zdvihového mechanismu
- pevnostní výpočet konstrukce sloupového jeřábu
- pevnostní výpočet exponovaných dílů
- sestava sloupového jeřábu
- sestavu uložení otočného ramene sloupového jeřábu
- sestavu nosné ocelové konstrukce sloupového jeřábu

**Seznam literatury:**

ČSN EN 13001-2+A3:2015 Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 2: Účinky zatížení

Gajdůšek, J. a Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988

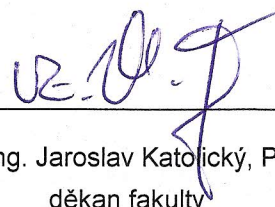
Remta, F., Kupka, L. a Dražan, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a doplň. vyd., SNTL Praha, 1975

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 26. 10. 2016



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem mobilního sloupového jeřábu pro práci v dílenském prostředí. Jeřáb s nosností 600 kg, délkou vyložení 3 m a výškou zdvihu 3m je osazen elektrickým řetězovým kladkostrojem s elektrickým pojezdem po výložníku, otáčení ramene ručně vedením břemena. Práce obsahuje konstrukční návrh jeřábu a kontrolní a návrhové výpočty exponovaných částí. Součástí práce je výkresová dokumentace.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Sloupový jeřáb, sloup, výložník, mobilní, nosná konstrukce, pevnostní výpočet

## ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of a mobile crane for working in a manufacturing environment. The crane has load capacity 600 kg, length of radius 3 m and load-lifting height 3m. It is equipped with the electric chain hoist with electric trolley, rotation by hand of burden. The diploma thesis contains crane design and control and design calculations of important components. Technical drawings are also part of the thesis.

## KEYWORDS

Jib crane, pillar, boom, mobile, supporting structure, strength calculation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

WOJNAR, T. *Sloupový jeřáb mobilní s nosností 600kg*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 69 s. Vedoucí diplomové práce Přemysl Pokorný

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne XX. května 20XX

.....

Tomasz Wojnar

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce za cenné rady a náměty během vypracovávání mé práce. Dále děkuji firmě KRÁLOVO POLE CRANES, a.s. za věcné připomínky a rady.

Tímto bych chtěl poděkovat cele své rodině za podporu během celého studia na vysoké škole a také při tvorbě této práce.

## OBSAH

Úvod .....	7
1 Základní rozdělení jeřábů .....	8
1.1 Druhy sloupových jeřábů .....	8
1.2 Kotvení sloupových jeřábů .....	10
1.3 Druhy mobilních sloupových jeřábů .....	10
2 Volba kladkostroje a pojezdu .....	12
3 Klasifikace jeřábů .....	13
4 Určení dynamických součinitelů .....	14
4.1 Dynamický součinitel zdvihání, a pro účinky tíhy, které působí na hmotnost jeřábu 14	
4.2 Dynamický součinitel pro účinky setrvačnosti a gravitační účinky působící svisle na břemeno .....	14
4.3 Dynamický součinitel pro náhlé uvolnění části břemene .....	15
4.4 Dynamický součinitel pro zatížení způsobené pojezdem po nerovném povrchu .....	15
4.5 Dynamický součinitel pro zatížení způsobená zrychlením pohonů .....	15
4.6 Dynamický součinitel pro zatížení při zkouškách .....	16
4.7 Zatížení způsobena silami na nárazníky .....	16
4.8 Přehled dynamických součinitelů .....	16
5 Výpočet účinků zatížení .....	17
5.1 Zatížení od hmotnosti jeřábu .....	17
5.2 Hmotnost břemena zdvihu .....	17
5.3 Zatížení od zrychlení pohonu .....	17
5.4 Zatížení při zkouškách .....	19
5.5 Zatížení způsobena silami na nárazníky .....	20
5.6 Vynechané zatížení .....	20
6 Návrh profilů konstrukce .....	21
6.1 Výložník s podpěrami .....	21
6.2 Základna .....	23
7 Určení hmotnosti protizávaží .....	25
8 Model konstrukce jeřábu .....	28
8.1 Kombinace zatížení .....	30
8.2 Prokázání únavové pevnosti .....	33
8.3 Přehled výsledků kombinací zatížení .....	34
9 Prokázání způsobilosti .....	46
9.1 Prokázání statické únosnosti .....	46



---

Závěr .....	60
Seznam použitých zkratek a symbolů .....	61
Seznam příloh .....	69

## ÚVOD

Ve většině podniku se přepravuje materiál pomocí různých manipulačních zařízení, jako jsou dopravníky, přepravníky, jeřáby a další. Jednou z nejrozšířenějších skupin manipulačních zařízení jsou jeřáby. Můžeme je rozdělit do dvou základních skupin a to na mobilní, mající velký manipulační prostor a stacionární, které jsou pevně spojeny se základy. Jejich omezení ovšem spočívá v poměrně málem rozsahu manipulačního prostoru. Typickým představitelem této skupiny je sloupový jeřáb, který má malé zástavové rozměry ale omezený dosah. Částečným kompromisem může být mobilní sloupový jeřáb. Ten kombinuje malé zástavové rozměry, ale může být umístěn právě tam, kde je ho potřeba. Nevýhoda těchto jeřábů spočívá v značné hmotnosti potřebných závaží pro vyvážení jeřábu.

V této diplomové práci se budu zabývat návrhem mobilního sloupového jeřábu s vyložením 3m a maximálním zatížením 600 kg. Bude využito koncepce s protivýložníkem což by mělo vést na celkové snížení hmotnosti.

# 1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ JEŘÁBŮ

Jeřáby lze dělit na 3 základní typy:

- Jeřáby mostového typu
- Jeřáby s nosnými lany
- Jeřáby výložníkového typu

Sloupové jeřáby náleží do poslední zmíněné skupiny. Jeřáby výložníkového typu mají prostředek pro uchopení břemen zavěšený na výložníku nebo na kočce, pojíždějící podél výložníku.

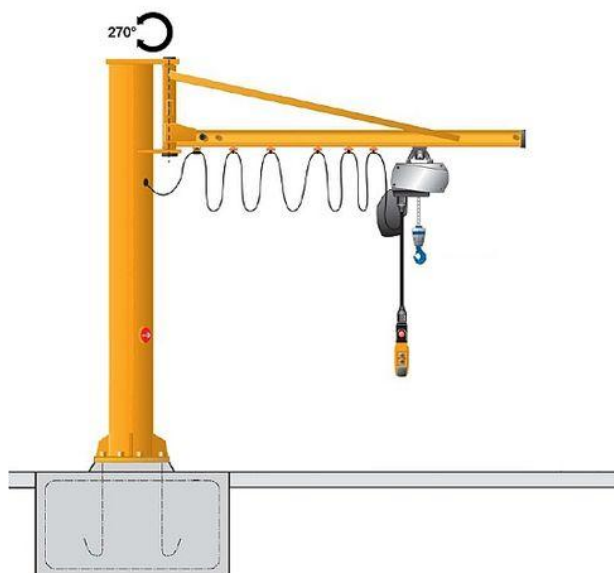
Sloupový jeřáb je definován jako konzolový jeřáb, který se buď může otáčet na sloupu upevněný jeho základnou k základu, nebo provedeným jako sloup, který se může otáčet v ložisku v jeho základu.

## 1.1 DRUHY SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ

Základní rozdělení sloupových jeřábů dle katalogu firmy TEDOX.[1]

### Sloupový jeřáb s horní podpěrrou

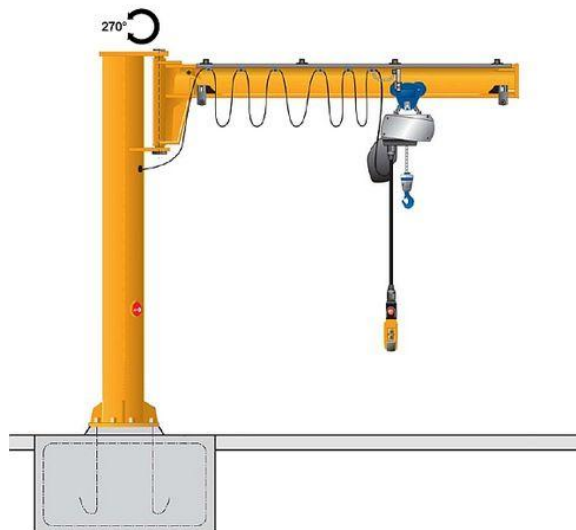
- Nízká hmotnost
- Otáčení výložníku do 270°
- Nosnost do 1000 kg, vyložení ramene do 5m



Obr. 1 Jeřáb s horní podpěrrou [1]

**Sloupový jeřáb s výložníkem umístěným ve dvou protilehlých podpěrách**

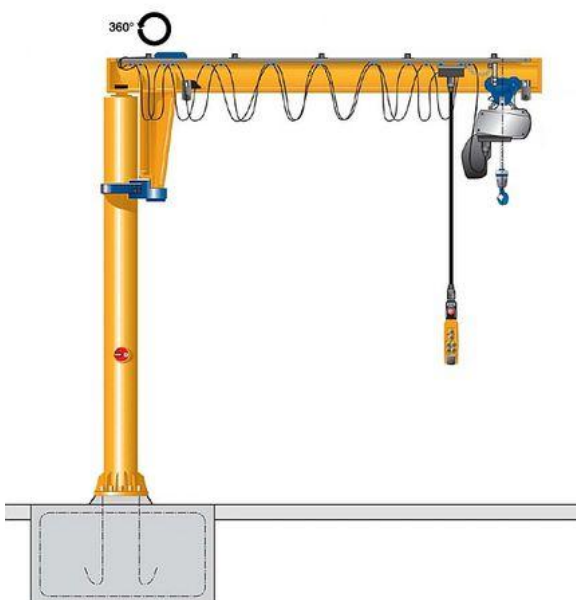
- Otáčení výložníku do 270°
- Nosnost do 2000 kg, vyložení ramene do 5 m.



*Obr. 2 Jeřáb s protilehlými podpěrami [1]*

**Sloupový jeřáb s výložníkem a opěrnými kroužky na spodní části podpěry**

- Otáčení výložníku 360°
- Maximální nosnost až 4000 kg



*Obr. 3 Jeřáb s opěrnými kroužky a spodní podpěrrou [1]*

## 1.2 KOTVENÍ SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ

Sloupové jeřáby se kotví pomocí spodní patky přivařené na sloup a kotevních šroubů přímo do základů haly. Jejich umístění je vhodně navrženo vzhledem ke strojům, které mají obsluhovat. Kotevní šrouby (závitové tyče) se přímo zalijí do čerstvého betonu, konce musí být vhodně zahnuté. Pokud je jeřáb umisťován do haly, kde je již pevný betonový základ, je možnost využití chemické kotvy. Množství použitých kotevních šroubů se řídí velikostí a maximálním zatížením jeřábu. Výpočet je dimenzován tak, aby i jeden šroub dokázal udržet celý jeřáb stabilně na svém místě.

V některých provozech však může nastat požadavek na přemísťování jeřábu, v takovém případě se volí mobilní varianta sloupového jeřábu.

Mobilní sloupové jeřáby mají větší plochu základny (např. 1x1 m) a jsou vybaveny protizávažím umístěným v ose sloupu nebo i na protivýložníku. Hmotnost závaží bývá značná oproti maximální hmotnosti břemene. Z toho vyplývá jedna z hlavních nevýhod tohoto druhu jeřábu. Manipulovatelnost pouze pomocí lidské obsluhy s tímto jeřábem je také obtížná. Proto se často využívá jiných mechanických prostředků jako jsou paletové vozíky, vysokozdvizné vozíky popřípadě jiného jeřábu, je-li nimi hala vybavena.

## 1.3 DRUHY MOBILNÍCH SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ

### Jeřáb s vlastním podvozkem

Po sklopení táhla se jeřáb zvedne na pojezdová kola a tím je možné s ním manipulovat. Během pracovní činnosti jeřábu je táhlo umístěno tak, aby byl jeřáb postaven na patkách.



Obr. 4 Jeřáb s vlastním podvozkem[2]

**Jeřáb s nastavitelnými podpěrami**

Podpěry jeřábu jsou ručně stavitelné, čímž se docílí posunutí klopných hran a také se ustaví základna jeřábu do vodorovné pozice. Tento typ je často vybaven prvky pro uchopení jinými manipulačními prostředky (otvory pro vidlice vysokozdvížných vozíků, závěsnými oky pro jeřáby).



*Obr. 5 Jeřáb s nastavitelnými podpěrami [ ]*

## 2 VOLBA KLADKOSTROJE A POJEZDU

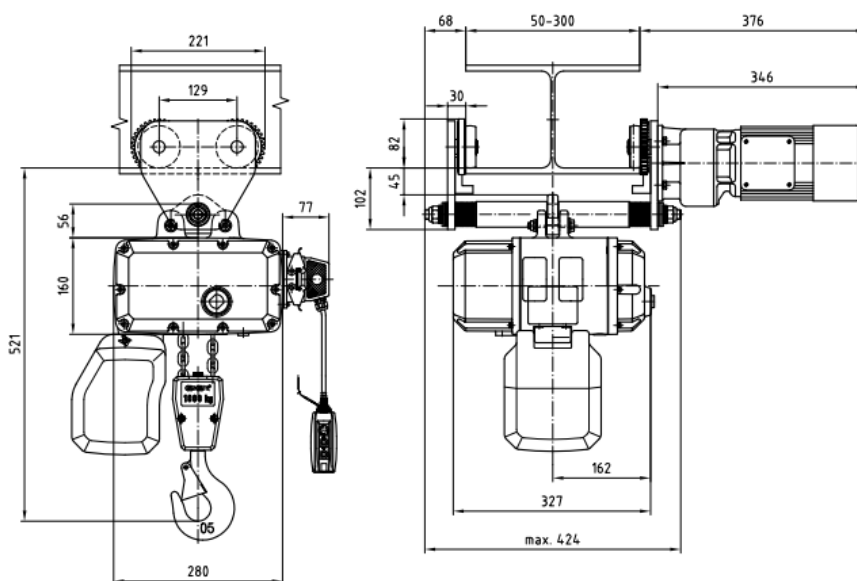
**Požadavky:** nosnost: 600 kg  
pohon zdvihu i pojezdu: elektrický

Po porovnání katalogu dostupných výrobců kladkostrojů byl zvolen řetězový kladkostroj firmy GIGA CH 2 630.4 –JE [3]

Tab. 1 Parametry kladkostroje

Výrobce	Giga
Typ	CH 2 630.4 -JE
Nosnost [kg]	630
Provozní skupina FEM/ISO	3m M6
Počet nosných průřezů	2
Hmotnost kladkostroje [kg]	35
Rychlost zdvihu [m/min]	2,5/10
Výkon motoru zdvihu [kW]	0,75
Hmotnost pojezdu [kg]	20
Rychlost pojezdu [m/min]	5/20
Výkon motoru pojezdu [kW]	0,15
Zástavbová výška [mm]	521

Tento kladkostroj disponuje sice menší rychlostí zdvihu, má za to přijatelnou hmotnost i zástavbovou výšku. Tento kladkostroj disponuje dvěma rychlostmi pojezdu. Rozchod pojezdových kol lze měnit podle zvoleného I nosníku. Provozní i ovládací napětí je 400V, 50Hz. Motor pojezdu má krytí IP54.



Obr. 1 Kladkostroj GIGA [3]

### 3 KLASIFIKACE JEŘÁBŮ

Klasifikace se používá pro určení a odsouhlasení provozních podmínek jeřábu a prostředků pro uchopení břemen, které jsou projektovány a vyráběny samostatně. Provozní podmínky jsou obecně uvažovány nezávisle na typu jeřábu a způsobu pohonu. [6]

#### Celkový počet pracovních cyklů:

Pracovní cyklus je pro účel klasifikace sled pohybů, který začíná, když je jeřáb připraven zvedat užitečné břemeno a končí, když je jeřáb ve stejné úloze připraven zvedat další užitečné břemeno.

Třída pracovního cyklu:  $U_6 \quad 5,00 \times 10^5 < C \leq 1,00 \times 10^6$

Celkový počet pracovních cyklů:  $C = 1,00 \times 10^6$

#### Průměrné lineární nebo úhlové přemístění [6]:

Průměrné lineární nebo úhlové přemístění  $\bar{X}_r$  jako výsledek poježdění během r-té úlohy při obsluze mezi pracovním prostorem 1 a 2 by mělo být určeno ze zkušenosti nebo vypočítáno.

#### Lineární přemístění:

Třída:  $D_{lin\ 3} \quad 2,5 < \bar{X}_{lin} \leq 5$

Průměrné přemístění:  $\bar{X}_{lin} = 2,6 \text{ [m]}$

#### Úhlové přemístění:

Třída:  $D_{ang\ 4} \quad \pi/2 < \bar{X}_{ang} \leq \pi$

Úhlové přemístění:  $\bar{X}_{ang} = \pi \text{ [rad]}$

#### Četnost výskytu zatížení:

Součinitel spektra zatížení  $kQ$  je jeden z parametrů pro stanovení provozních podmínek jeřábu, který popisuje různost užitečných zatížení, se kterými má být manipulováno při pracovních pohybech. []

#### Otočné jeřáby všeobecně:

Třída:  $Q_2 \quad 0,062 < kQ \leq 0,125$

$kQ = 0,125$

#### Umíst'ování břemen:

Počet zamýšlených a následných zrychlení pohonu pro dosažení zamýšlené polohy břemena je jedním z parametrů pro klasifikaci provozních podmínek jeřábu. [6]

Třída:  $P_1 \quad 2 < p \leq 4$



## 4 URČENÍ DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ

### 4.1 DYNAMICKÝ SOUČINITEL ZDVIHÁNÍ, A PRO ÚČINKY TÍHY, KTERÉ PŮSOBÍ NA HMOTNOST JEŘÁBU [7]

Při zdvihání břemene ze země nebo při uvolnění břemena se musí zohlednit účinky vybuzení kmitání konstrukce jeřábu. Hmotnost jeřábu nebo jeho části třídy MDC2 se vynásobí součinitelem  $\phi_1$ .

$$\phi = 1 + \delta = 1 + 0,025 = 1,025 \quad (1)$$

kde:

$\delta$  hodnota  $0 < \delta < 0,05$  závisí na konstrukci jeřábu a je určena.

Třída MDC2

Jeřáb náleží do třídy MDC2, jestliže obsahuje nejméně jeden prvek, ve kterém účinek gravitačního zrychlení některých částí jeřábu zmenšuje výsledný účinek zatížení nebo ve kterém účinek zatížení je ovlivněn úmyslným přetvořením (předepnutím).

### 4.2 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO ÚČINKY SETRVAČNOSTI A GRAVITAČNÍ ÚČINKY PŮSOBÍCÍ SVISLE NA BŘEMENO

Při zdvihání volně ležícího břemena se musí zohlednit účinky kmitání, které se při tom vyvolají, vynásobením gravitačních sil působících na hmotnost břemena zdvihu, součinitelem  $\phi_2$ .

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 \cdot V_h = 1,15 + 0,51 \cdot 0,067 = 1,1842 \quad (2)$$

Kde:

$\beta_2$  součinitel pro zdvihovou třídu HC3 [8]

$\phi_{2,\min}$  součinitel pro typ pohonu HC3

$V_h$  [ms<sup>-1</sup>] největší ustálená rychlost zdvihu

Zdvihová třída zatížení: HC3 Dílenské jeřáby

Typ pohonu zdvihu: HD2 Pohon zdvihu se může zahájit pouze s použitím mikrozdvihu, nejméně po předvolenou dobu

### 4.3 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO NÁHLÉ UVOLNĚNÍ ČÁSTI BŘEMENE

Během provozu jeřábu může dojít k náhlému uvolnění břemene (části břemene), proto musí být špička dynamického účinku na jeřáb zohledněna vynásobením břemena zdvihu součinitelem  $\phi_3$ .

$$\phi_3 = 1 - \frac{\Delta mH}{mH} (1 + \beta_3) = 1 - \frac{600}{655} (1 + 1) = -0,791 \quad (3)$$

Kde:

$\Delta mH$  [kg] uvolněná část břemena zdvihu

$mH$  [kg] hmotnost břemena zdvihu

$\beta_3$  [1] součinitel náhlého uvolnění břemene

pro jeřáby s magnetem nebo rychlým uvolněním břemene  $\beta_3 = 1$

### 4.4 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ POJEZDEM PO NEROVNÉM POVRCHU

Musí být stanoveny dynamické účinky na jeřáb při pojezdu s břemenem nebo bez něj, při pojezdu po jízdni dráze nebo mino ni nebo na kolejové dráze, experimentálně nebo výpočtem, požitím pro kočku a pro pojezdovou plochu nebo dráhu. [ zdroj]

Jelikož je výložník vyroben z jednoho kusu materiálu, neuvažuje se proto výskyt žádného stupně nebo mezery, přes kterou by musel pojezd kladkostroje projet. Tento dynamický součinitel se zanedbává.

### 4.5 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ ZRYCHLENÍM POHONŮ

Zatížení, způsobené na jeřábu působením hnacích sil při zrychlení zdvihu. Otoč jeřábu je poháněna ručně, proto se neuvažuje vliv odstředivých sil.

$\phi_{50} = 1$  pro odstředivé síly

$\phi_5 = 1,25$  pro setrvačné síly

kde:

$\phi_5$  hodnota  $1 \leq \phi_5 \leq 1,5$  pro pohony bez rázů při zpětném chodu nebo tam, kde zpětné rázy nevyvolávají dynamické síly, a kde jsou pozvolné změny sil

## 4.6 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO ZATÍŽENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH

Zatížení při zkouškách se použijí pro jeřáb v jeho provozním uspořádání, jakým bude jeřáb používán.

### a) Dynamické zkušební zatížení

Zkušební břemeno musí být nejméně 110% maximálního břemene zdvihu.

$$\phi_{6D} = 0,5 \cdot (1 + \phi_2) = 0,5 \cdot (1 + 1,1842) = 1,0921 \quad (4)$$

Kde:

$\phi_2$  dynamický součinitel pro zvedání volně ležícího břemena

### b) Statické zkušební zatížení

Zkušební břemeno musí být nejméně 125% maximálního břemena zdvihu.

$$\phi_{6S} = 1$$

## 4.7 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENA SILAMI NA NÁRAZNÍKY

Pokud jsou používány nárazníky, pak se pro posouzení pružných účinků vynásobí síly, vznikající při kolizi (nárazy) součinitelem  $\phi_7$ .

$$\phi_7 = 1,25$$

Pro použití nárazníků s lineární charakteristikou.

## 4.8 PŘEHLED DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ

Tab. 2 Přehled dynamických součinitelů

Název		označení	hodnota
Součinitel pro účinky tíhy, které působí na hmotnost jeřábu		$\phi_1$	1,025
Součinitel pro účinky setrvačnosti a Gravitační účinky		$\phi_2$	1,1842
Součinitel pro náhle uvolnění části břemene		$\phi_3$	-0,791
Součinitel pro zatížení způsobena zrychlením pohonu	odstředivé síly	$\phi_5$	1
	pohony	$\phi_5$	1,25
Součinitel zkušebního tělesa	statické	$\phi_{6S}$	1
	dynamické	$\phi_{6D}$	1,0921
Součinitel pro zatížení způsobena silami na nárazníky		$\phi_7$	1,25

## 5 VÝPOČET ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

### 5.1 ZATÍŽENÍ OD HMOTNOSTI JEŘÁBU

$$i_1 = (m_k + m_z + m_{kl}) \cdot g = (429 + 1400 + 55) \cdot 9,81 = 18482 \text{ N} \quad (5)$$

Kde:

$m_k$  [kg] hmotnost konstrukce

$m_z$  [kg] hmotnost závaží

$m_{kl}$  [kg] hmotnost kladkostroje

### 5.2 HMOTNOST BŘEMENA ZDVIHU

$$i_2 = m_b \cdot g = 600 \cdot 9,81 = 5886 \text{ N} \quad (6)$$

Kde:

$m_b$  [kg] hmotnost jmenovitého břemena

### 5.3 ZATÍŽENÍ OD ZRYCHLENÍ POHONU

#### Otáčení výložníku

Předpokládaná rychlost otáčení výložníku ručním vedením břemena  $n = 1$  ot/min.

Úhlová rychlost výložníku:

$$\omega_v = \frac{2n\pi}{60} = \frac{2\pi \cdot 1}{60} = 0,105 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (7)$$

Odstředivá síla výložníku

$$F_{ov} = (m_b + m_{kl}) \cdot \omega_v^2 \cdot L_v = (600 + 55) \cdot 0,105^2 \cdot 3 = 21,6 \text{ N} \quad (8)$$

Kde:

$m_b$  [kg] hmotnost jmenovitého břemena

$m_{kl}$  [kg] hmotnost kladkostroje

$\omega_v$  [kg] úhlová rychlost výložníku

$L_v$  [m] délka vyložení výložníku

Odstředivá síla od protivýložníku

$$F_{op} = m_{zp} \cdot \omega_v^2 \cdot L_p = 1200 \cdot 0,105^2 \cdot 0,75 = 10 \text{ N} \quad (9)$$

Kde:

$m_{zp}$  [kg] hmotnost závaží na protivýložníku

$L_p$  [m] délka vyložení protivýložníku

Výsledná odstředivá síla

$$i_{4o} = F_{ov} - F_{op} = 21,6 - 10 = 11,6 \text{ N} \quad (10)$$

### Zrychlení pojezdu kladkostroje

Maximální rychlou pojezdového ústrojí zvoleného kladkostroje činí  $v_{kl} = 20 \text{ m/min} = 0,33 \text{ m/s}$ , pojezd je schopen kladkostroj uvést na tuto rychlost za čas  $t = 1 \text{ s}$ .

Zrychlení pojezdu:

$$a_{kl} = \frac{v_{kl}}{t} = \frac{0,33}{1} = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (11)$$

Kde:

$v_{kl}$  [m/s] maximální rychlost pojezdu kladkostroje

$t$  [s] doba rozběhu

Setrvačná síla:

$$i_{4sp} = (m_b + m_{kl}) \cdot a_{kl} = (600 + 55) \cdot 0,33 = 216,15 \text{ N} \quad (12)$$

Kde:

$m_b$  [kg] hmotnost jmenovitého břemena

$m_{kl}$  [kg] hmotnost kladkostroje

$a_{kl}$  [m/s<sup>2</sup>] zrychlení pojezdu

### Zrychlení od pohonu zdvihu

Maximální rychlost zdvihu zvoleného kladkostroje činí  $v_z = 4 \text{ m/min} = 0,066 \text{ m/s}$ , pohon zdvihu je této rychlosti schopen dosáhnout za dobu  $t = 1 \text{ s}$ .

Zrychlení pohonu zdvihu:

$$a_z = \frac{v_z}{t} = \frac{0,066}{1} = 0,066 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (13)$$

Setrvačná síla:

$$i_{4sz} = m_b \cdot a_z = 600 \cdot 0,066 = 39,6 \text{ N} \quad (14)$$

## 5.4 ZATÍŽENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH

### Statická zkouška

$$i_{13s} = m_{stat} \cdot g = 750 \cdot g = 73535 \text{ N} \quad (15)$$

Kde:

$m_{stat}$  [kg] hmotnost zkušebního břemena pro statickou zkoušku (125% z hmotnosti jmenovitého břemena)

### Dynamická zkouška

$$i_{13d} = m_{dyn} \cdot g = 660 \cdot g = 6474,6 \text{ N} \quad (16)$$

Kde:

$m_{dyn}$  [kg] hmotnost zkušebního břemena pro dynamickou zkoušku (110% z hmotnosti jmenovitého břemena)

## 5.5 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENA SILAMI NA NÁRAZNÍKY

Síly na nárazníky se počítají z kinetické energie všech příslušných částí jeřábu pohybující se rychlostí o velikosti 0,7 až 1 násobku jmenovité rychlosti.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (m_b + m_{kl}) \cdot 0,7 \cdot v_{kl}^2 = \frac{1}{2} \cdot (600 + 55) \cdot 0,7 \cdot 0,33^2 = 24,97 \text{ J} \quad (17)$$

Kde:

$m_b$  [kg] hmotnost jmenovitého břemena

$m_{kl}$  [kg] hmotnost kladkostroje

$v_{kl}$  [m/s] rychlost pojezdu kladkostroje

Byl zvolen nárazník 017120-100N z katalogu firmy CONDUCTIX [14].

Nárazová síla:

$$i_{14} = 4200 \text{ N}$$

## 5.6 VYNECHANÉ ZATÍŽENÍ

Jeřáb je umístěn v hale, proto nebyla uvažována tato zatížení:

- Zatížení větrem za provozu
- Zatížení sněhem a námrazou
- Zatížení větrem mimo provoz

## 6 NÁVRH PROFILŮ KONSTRUKCE

Pro snížení nákladů na výrobu a náročnosti dílenského zpracování byly všechny části konstrukce jeřábu navrženy z válcovaných profilů běžně dostupných z katalogů výrobců.

Pro zpřehlednění a lepší orientaci ve výsledcích byla celá konstrukce pomyslně rozdělena do tří skupin. Základem pro rozdělení byly funkce jednotlivých skupin v celé konstrukci, jmenovitě: výložník s podpěrami, sloup a základna.

Materiál pro všechny profily byl volen S355, který díky své vyšší mezi kluzu je hojně využíván pro jeřábové konstrukce.

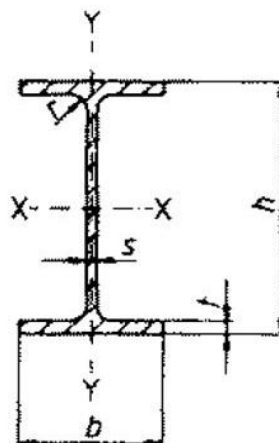
### 6.1 VÝLOŽNÍK S PODPĚRAMI

#### Výložník:

Profil IPE válcovaný za tepla, DIN 1025-5, IPE 240.

Tab. 3 Charakteristiky profilu pro výložník

Označení IPE		240
Šířka příruby	b	120 mm
Výška průřezu	h	240 mm
Tloušťka příruby	t	9,8 mm
Tloušťka stojiny	s	6,2 mm
Plocha průřezu	F	39,1 cm <sup>2</sup>
Hmotnost	G	30,7 kg/m
Poloměr vnitřního zaoblení	r	15 mm
Průřezový modul k ose ohybu x	$W_x$	324 cm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu x	$i_x$	9,97 cm
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu y	$i_y$	2,69 cm
Průřezový modul k ose ohybu y	$W_y$	47,3 cm <sup>3</sup>
Moment setrvačnosti k ose ohybu x	$I_x$	3890 cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti k ose ohybu y	$I_y$	284 cm <sup>4</sup>



Tento profil je v konstrukci reprezentován pruty: B4, B5, B6, B7, B8, B9.



**Podpěry:**

Profil IPE válcovaný za tepla, DIN 1025-5, IPE 140.

Tab. 4 Charakteristiky profilu pro podpěry

Označení IPE		140
Šířka příruby	b	73 mm
Výška průřezu	h	140 mm
Tloušťka příruby	t	6,9 mm
Tloušťka stojiny	s	4,7 mm
Plocha průřezu	F	16,4 cm <sup>2</sup>
Hmotnost	G	12,9 kg/m
Průřezový modul k ose ohybu x	$W_x$	77,3 cm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu x	$i_x$	5,74 cm
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu y	$i_y$	1,65 cm
Průřezový modul k ose ohybu y	$W_y$	12,3 cm <sup>3</sup>
Moment setrvačnosti k ose ohybu x	$I_x$	541 cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti k ose ohybu y	$I_y$	44,9 cm <sup>4</sup>

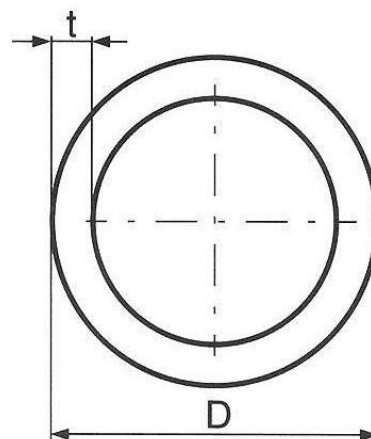
Tento profil je v konstrukci reprezentován pruty: B10, B11.

**Sloup:**

Trubka bezešvá hladká kruhová RO 159 x 12,5 EN 10210 [4]

Tab. 5 Charakteristiky profilu pro sloup

Tloušťka stěny	t	12,5 mm
Vnější průměr	D	159 mm
Hmotnost	G	43,92 kg/m



Tento profil je v konstrukci reprezentován pruty: B1, B2, B3.

## 6.2 ZÁKLADNA

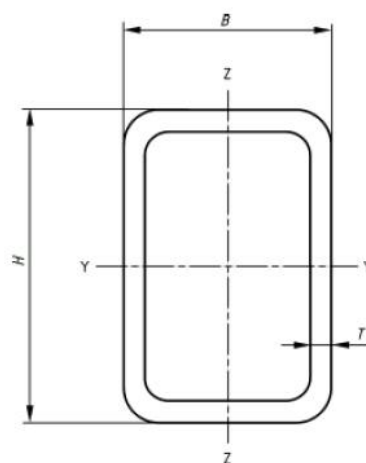
Základna je tvořena ze dvou druhů dutých svařovaných profilů s obdélníkovým průřezem. Jedna část tvoří základní kříž, ke kterému jsou ve finální sestavě připevněny pojezdová kola, patky a sloup jeřábu. Zbylou část konstrukce tvoří vzpěry, jak mezi křížem samotným, tak i mezi křížem a sloupem.

### Základní kříž:

Dutý svařovaný profil s obdélníkovým průřezem, EN 10219, 160 x 90 x 6 [4]

Tab. 6 Charakteristiky profilu pro základní kříž

Výška profilu	H	160 mm
Šířka profilu	B	90 mm
Tloušťka profilu	T	6,0 mm
Hmotnost	M	21,04 kg/m
Plocha průřezu	A	27,63 cm <sup>2</sup>
Kvadratický moment průřezu	$I_{yy}$	907,19 cm <sup>4</sup>
Kvadratický moment průřezu	$I_{zz}$	368,91 cm <sup>4</sup>
Poloměr kvadratického momentu průřezu	$i_{yy}$	5,73 cm
Poloměr kvadratického momentu průřezu	$i_{zz}$	3,65 cm
Pružný modul průřezu	$W_{elyy}$	113,40 cm <sup>3</sup>
Pružný modul průřezu	$W_{elzz}$	81,98 cm <sup>3</sup>
Plastický modul průřezu	$W_{plyy}$	141,56 cm <sup>3</sup>
Plastický modul průřezu	$W_{plzz}$	94,82 cm <sup>3</sup>
Polární moment průřezu	$I_t$	866,01 cm <sup>4</sup>



Tento profil je v konstrukci reprezentován pruty: B12, B13, B14, B15, B16, B17, B18, B19.

**Vzpěry:**

Duty svařovaný profil s obdélníkovým průřezem, EN 10219, 100 x 60 x 5 [4]

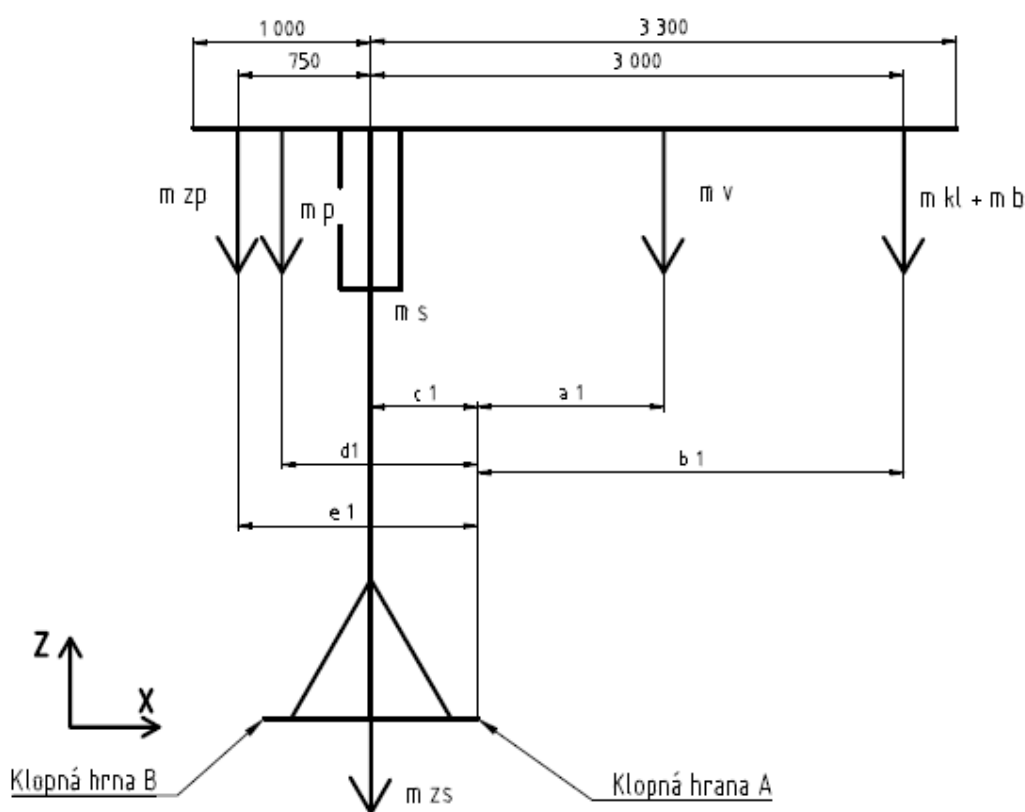
*Tab. 7 Charakteristiky profilu pro vzpěry*

Výška profilu	H	100 mm
Šířka profilu	B	60 mm
Tloušťka profilu	T	5,0 mm
Hmotnost	M	10,959 kg/m
Plocha průřezu	A	14,40 cm <sup>2</sup>
Kvadratický moment průřezu	$I_{yy}$	180,77 cm <sup>4</sup>
Kvadratický moment průřezu	$I_{zz}$	80,83 cm <sup>4</sup>
Poloměr kvadratického momentu průřezu	$i_{yy}$	3,55 cm
Poloměr kvadratického momentu průřezu	$i_{zz}$	2,37 cm
Pružný modul průřezu	$W_{elyy}$	36,15 cm <sup>3</sup>
Pružný modul průřezu	$W_{elzz}$	26,94 cm <sup>3</sup>
Plastický modul průřezu	$W_{plyy}$	45,59 cm <sup>3</sup>
Plastický modul průřezu	$W_{plzz}$	31,88 cm <sup>3</sup>
Polární moment průřezu	$I_t$	187,86 cm <sup>4</sup>

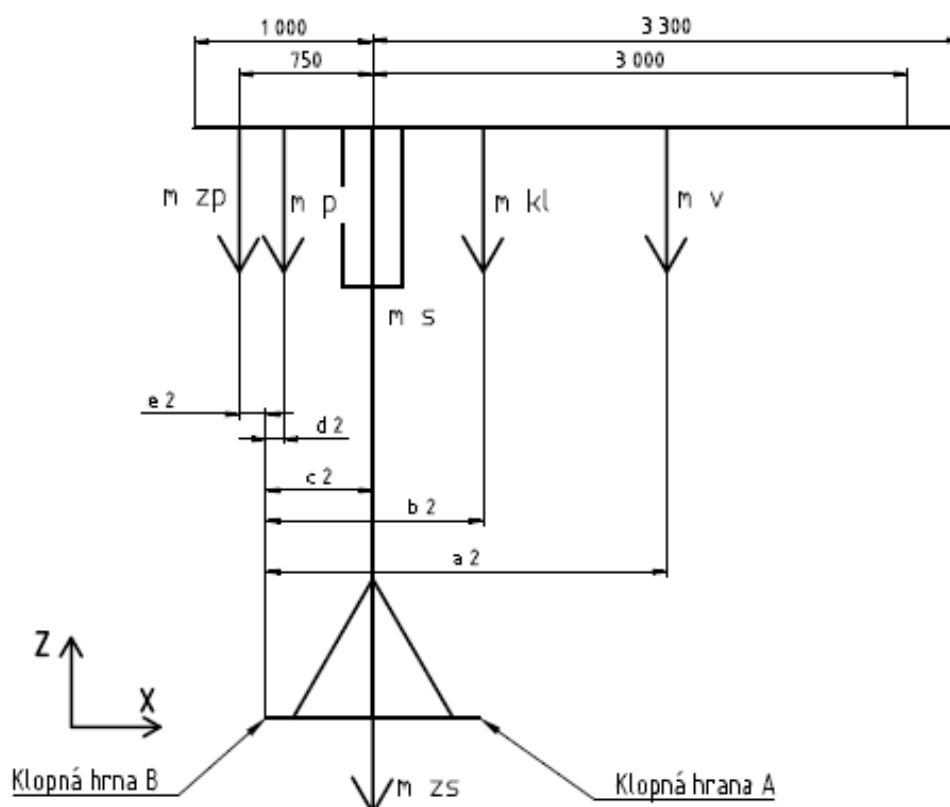
Tento profil je v konstrukci reprezentován pruty: B20, B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27.

## 7 URČENÍ HMOTNOSTI PROTIZÁVAŽÍ

Cílem každé konstrukční práce je navrhnout konstrukci tak, aby vyhověla požadavkům na zatížení, ale je zde i snaha o vytvoření co nejlehčí konstrukce. Proto bylo při návrhu uvažováno využití protizávaží na protivýložníku. Díky tomu, že hmota závaží není soustředěna v ose sloupu, ale je vyosena o délku proti výložníku, umožňuje celkově snížit hmotu použitých závaží. Během návrhu hmot použitých závaží byly uvažovány dva nejvíce nepříznivé stavy, kdy je jeřáb zatížen břemenem na maximálním vyložení, překlápění kolem klopné hrany A (Obr. 6) a stav kdy jeřáb není zatížen a kladkostroj je v krajní poloze nejbližší sloupu, překlápění kolem klopné hrany B (Obr. 7).



Obr. 6: Klopné momenty - zatížený stav



Obr. 7 Klopné momenty - nezatížený stav

**Rovnice klopných momentů:**

Zatížený stav:

$$M_{klz} = (m_v \cdot g)a1 + ((m_{kl} + m_b) \cdot g)b1 \quad (18)$$

$$M_{vyz} = ((m_s + m_{zs})g)c1 + (m_p \cdot g)d1 + (m_{zp} \cdot g)e1 \quad (19)$$

Nezatížený stav:

$$M_{kln} = (m_{zp} \cdot g)e2 \quad (20)$$

$$M_{vyn} = (m_p \cdot g)d2 + ((m_s + m_{zs})g)c2 + (m_{kl} \cdot g)b2 + (m_v \cdot g)a2 \quad (21)$$

Kde:

$M_{klz}$	[Nm]	klopný moment zatížený stav
$M_{vyz}$	[Nm]	vyrovnávací moment zatížený stav
$M_{kln}$	[Nm]	klopný moment nezatížený stav
$m_{vyn}$	[Nm]	vyrovnávací moment nezatížený stav
$m_v$	= 132 kg	hmotnost výložníku
$m_{kl}$	= 55 kg	hmotnost kladkostroje

$m_b$	= 600 kg	hmotnost břemena
$m_s$	= 297 kg	hmotnost sloupu a základny
$m_p$	= 31 kg	hmotnost protivýložníku
$a_1$	= 1,05 m	rameno výložníku
$b_1$	= 2,4 m	rameno kladkostroje a břemena
$c_1$	= 0,6 m	rameno sloupu a základny, rameno závaží na sloupu
$d_1$	= 1,1 m	rameno protivýložníku
$e_1$	= 1,35 m	rameno závaží na protivýložníku
$a_2$	= 2,25 m	rameno výložníku
$b_2$	= 1,22 m	rameno kladkostroje
$c_2$	= 0,6 m	rameno sloupu a základny, rameno závaží sloupu
$d_2$	= 0,1 m	rameno protivýložníku
$e_2$	= 0,15 m	rameno závaží na protivýložníku
$m_{zp}$	[kg]	hmotnost závaží naproti výložníku
$m_{zs}$	[kg]	hmotnost závaží u paty sloupu

Nutná podmínka pro volbu závaží

$$M_{klz} < M_{vyz} \wedge M_{kln} < M_{vyn} \quad (22)$$

Nejvhodnější kombinací rozmístění hmot na jednotlivá závaží:

$m_{zp}$	= 1200 kg	závaží na protivýložníku
$m_{zs}$	= 200 kg	závaží u paty sloupu

### Výpočet klopných momentu:

Zatížený stav

$$M_{klz} = 132 \cdot g \cdot 1,05 + (55 + 600) \cdot g \cdot 2,4 = 16781 \text{ Nm} \quad (23)$$

$$M_{vyz} = (297 + 200) \cdot g \cdot 0,6 + 31 \cdot g \cdot 1,1 + 1200 \cdot g \cdot 1,35 = 19046 \text{ Nm} \quad (24)$$

Nezatížený stav

$$M_{kln} = 1200 \cdot g \cdot 0,15 = 1765,8 \text{ Nm} \quad (25)$$

$$M_{vyn} = 31g \cdot 0,1 + (297 + 200)g \cdot 0,6 + 55g \cdot 1,22 + 132g \cdot 2,25 = 6527 \text{ Nm} \quad (26)$$

Kontrola podmínky:

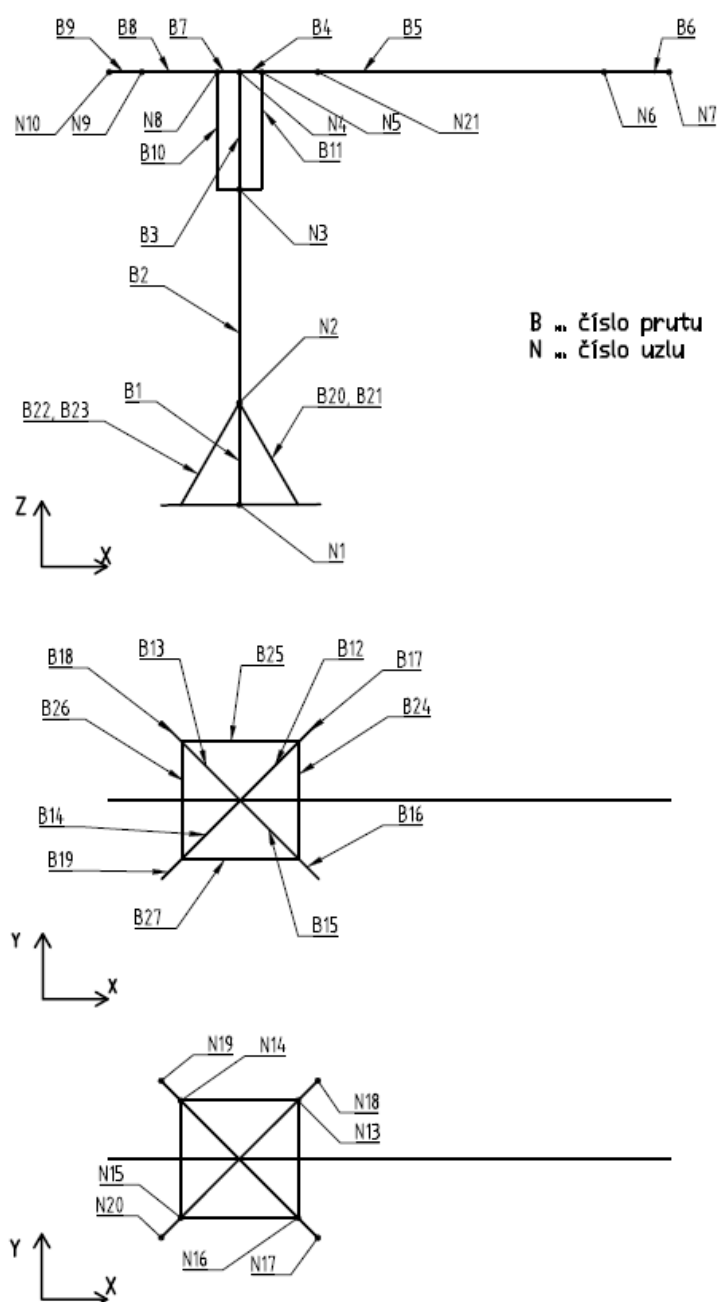
$$M_{klz} < M_{vyz} \wedge M_{kln} < M_{vyn} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínka klopných momentů vyhovuje, k překlopení jeřábu nedojde.

## 8 MODEL KONSTRUKCE JEŘÁBU

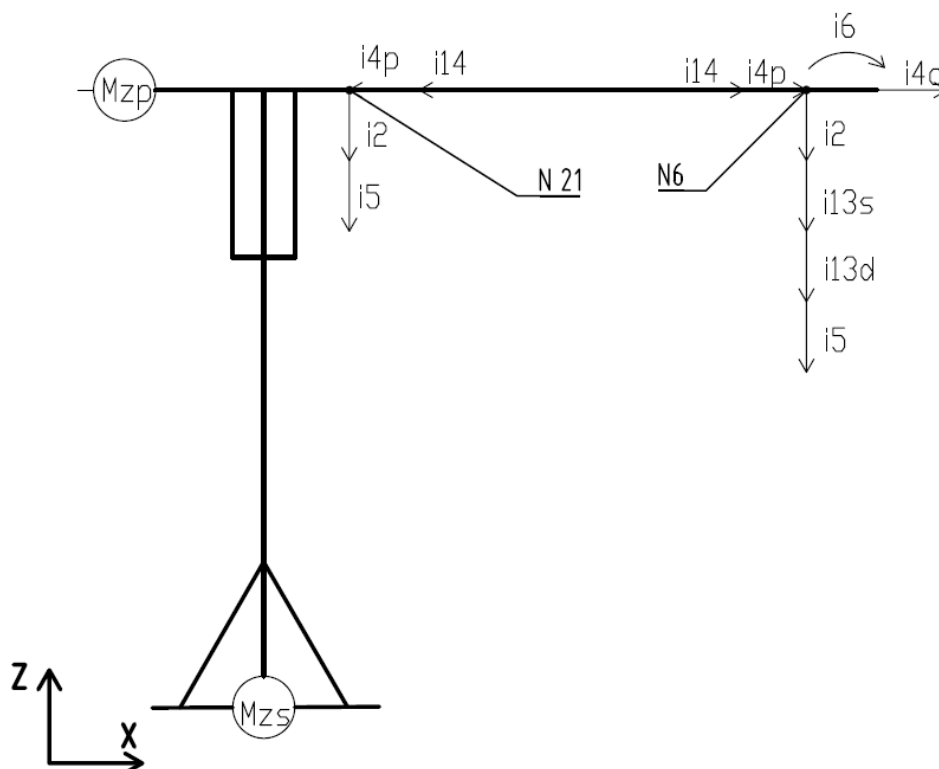
Výpočet a následná kontrola hlavních částí jeřábu byla provedena v programu Scia engineer, kde byly zadány jednotlivé účinky zatížení jeřábu a ty následně sestaveny do kombinací zatížení spolu s příslušnými součiniteli dle tab .... . Vyhodnocením výsledků jednotlivých kombinací a porovnáním globálních extrémů s hodnotami udávanými normou ČSN 13001-3 +A1 byla prokázána způsobilost dané konstrukce.

Následující schéma znázorňuje rozmístění jednotlivých prutů a uzlů celé konstrukce v prostředí Scia.



Obr. 8 Schéma konstrukce - rozmístění prutů a styčníků

Schéma rozmístění jednotlivých účinků zatížení na konstrukci:



Obr. 9 Rozmístění jednotlivých účinků zatížení

Popis jednotlivých účinků zatížení:

Tab. 8 Účinky zatížení

Účinky zatížení		
Název	Označení	Poznámka
Vlastní hmotnost	$i_1$	
Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	umístění uzel N6 a N21
Odstředivá síla při otáčení	$i_{4o}$	
Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	umístění uzel N6 a N21
Setrvačná síla při zvedání	$i_5$	umístění uzel N6 a N22
Klopící síly	$i_6$	
Zatížení při zkouškách - statické	$i_{13s}$	
Zatížení při zkouškách - dynamické	$i_{13d}$	
Síla na nárazníky	$i_{14}$	umístění uzel N6 a N 21
Hmotnost závaží na protivýložníku	$M_{zp}$	součást hmotnosti jeřábu, stejný součinitel
Hmotnost závaží na sloupu	$M_{zs}$	součást hmotnosti jeřábu, stejný součinitel



## 8.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

### Přehled kombinací [7]

Dynamické součinitele popsané v kapitole 4 a velikosti účinků zatížení z kapitoly 5 byly použity pro sestavení tabulky kombinací dle ČSN EN 13001-2. Dle této tabulky byly vyhodnoceny nejnepříznivější stavy, které nastávají během provozu jeřábu. Vzhledem k tomu, že je velká pravděpodobnost, že některá z kombinací nenastane, byly tyto vynechány. Odůvodnění je popsáno na konci tabulky.

#### 8.1.1 DÍLČÍ SOUČinitele PRO HMOTNOST JEŘÁBU

Dílčí součinitele bezpečnosti pro hmotnost jeřábu  $\gamma_p$  se vyberou z [ČSN EN 13001-2] v závislosti na metodě určení hmotnosti částí jeřábu a na typu účinku zatížení.

Metoda určení hmotnosti částí jeřábu a jejich těžišť: výpočtem.

Tab. 9 Hodnota součinitele  $\gamma_p$

Hodnota součinitele $\gamma_p$ pro nepříznivé rozložení pro třídu jeřábu MDC2			
Určení hmotnosti výpočtem	Kombinace zatížení		
	A	B	C
	1,22	1,16	1,1

Tab. 10 Přehled kombinací pro únosnost jeřábu

Kombinace		Zatěžovací stav		Součinitel	
		Stav	Označení	Označení	výsledná hodnota
1	A1 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,25
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_2$	1,587
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,34
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,675
2	A1 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,25
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_2$	1,587
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,34
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,675
3	A2 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,25
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_3$	-1,06
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,34
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,675

4	A2 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,25
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_3$	-1,06
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,34
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,675
5	A3 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,22
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,34
		Setrvačná síla při zvedání	$i_5$	$\phi_5$	1,675
6	A3 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,22
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,34
		Setrvačná síla při zvedání	$i_5$	$\phi_5$	1,675
7	B1 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,189
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_2$	1,445
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,22
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,525
		Zatížení změnou teploty		1	1,16
8	B1 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,189
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_2$	1,445
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,22
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,525
		Zatížení změnou teploty		1	1,16
9	B2 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,189
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_3$	-0,965
		Odstředivá síla při otáčení	$i_{40}$	$\phi_5$	1,22
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,525
		Zatížení změnou teploty		1	1,16
10	B2 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,189
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	$\phi_3$	-0,965
		Odstředivá síla při otáčení	$i_4$	$\phi_5$	1,22
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,525
		Zatížení změnou teploty		1	1,16
11	B3 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,16
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,22
		Setrvačná síla při zvedání	$i_5$	$\phi_5$	1,525
		Zatížení změnou teploty		1	1,16
12	B3 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,16
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,22
		Setrvačná síla při zvedání	$i_5$	$\phi_5$	1,525
		Zatížení změnou teploty		1	1,16
13	C1	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,1275
		Zdvíhaní ležícího břemena	$i_2$	$\phi_2$	1,303

14	C3 statická zkouška	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,1275
		Odstředivá síla při otáčení	$i_4$	$\phi_5$	1,1
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,375
		Zatížení při zkouškách - statické	$i_{13s}$	$\phi_6$	1,2131
15	C3 dynamická zkouška	Vlastní hmotnost	$i_1$	$\phi_1$	1,1275
		Odstředivá síla při otáčení	$i_4$	$\phi_5$	1,1
		Setrvačná síla od pojezdu	$i_{4p}$	$\phi_5$	1,375
		Zatížení při zkouškách - dynamické	$i_{13d}$	$\phi_6$	1,1
16	C4 uzel 6	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,16
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,1
		Síly na nárazníky	$i_{14}$	$\phi_7$	1,375
17	C4 uzel 21	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,16
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,1
		Síly na nárazníky	$i_{14}$	$\phi_7$	1,375
18	C5	Vlastní hmotnost	$i_1$	1	1,16
		Hmotnost břemena zdvihu	$i_2$	1	1,1
		Klopící síly	$i_6$	1	1,1

### 8.1.2 VYNECHANÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ

A4: Pojezd po nerovném povrchu.

- tento stav během provozu nenastane

B5: Jeřáb za obvyklých provozních podmínek, pojezd po nerovném povrchu, s větrem za provozu a zatížením od jiných účinků prostředí.

- tento stav během provozu nenastane

C2: Jeřáb mimo provozních podmínek, včetně větru mimo provoz a zatížení od jiných účinků prostředí.

- tento stav se nepředpokládá

C6, C7: Nouzové zastavení a selhání mechanismu.

- Vzhledem k použitému kladkostroji není tento stav předpokládán

C8: Vnější dynamické buzení základů jeřábu.

- neuvažuje se seismické buzení základů

C9: Jeřáb při montáži, demontáži a dopravě.

- neuvažuje se častá montáž, demontáž nebo přeprava jeřábu

Tab. 11 Součinitele pro jednotlivé skupiny kombinací zatížení

	Skupina kombinací zatížení		
	A	B	C
Celkový součinitel bezpečnosti $\gamma_f$	1,48	1,34	1,22
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu $\gamma_m$	1,1	1,1	1,1
Výsledný součinitel pro skupinu kombinací	1,628	1,474	1,342

## 8.2 PROKÁZÁNÍ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI

Obecně se prokázání provádí použitím kombinace zatížení A podle ČSN EN 13001-2, při vynásobení dynamickými součiniteli  $\phi_i$  dosažení všech dílčích součinitelů bezpečnosti  $\gamma_p = 1,1$  a při aplikaci únosnosti (tj. návrhového napětí únosnosti) podle ČSN EN 13001-3-1.

Tab. 12 Prokázání únavové pevnosti

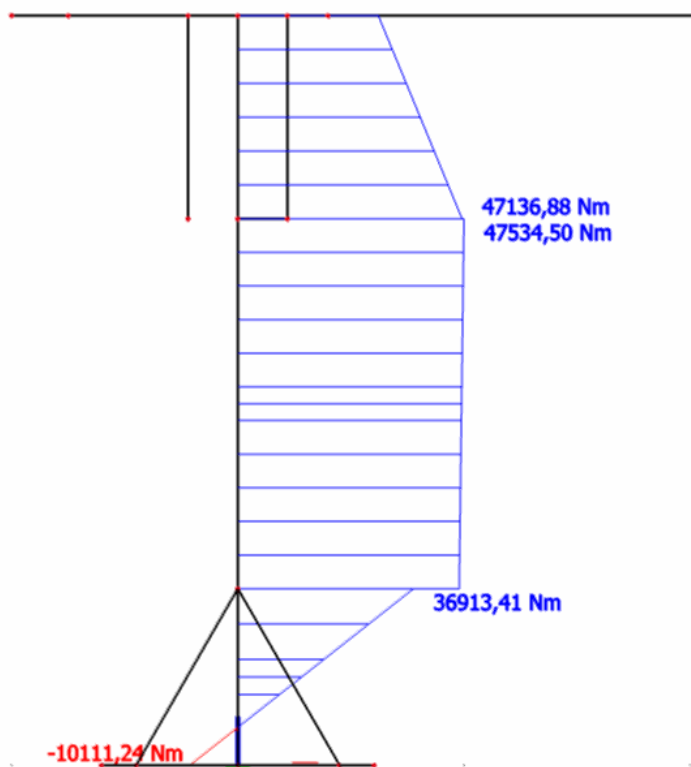
Kombinace únava		Zatěžovací stav		součinitel	
		Stav	Označení	Označení	Výsledná hodnota
1	A1 uzel 6 zatížen	Vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		Hmotnost břemena zdvihu	i2	$\phi_2$	1,14842
		Odstředivá síla při otáčení	i40	$\phi_5$	1
		Setrvačná síla od pojezdu	isp	$\phi_5$	1,25
2	A1 uzel 6 nezatížen	Vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		Hmotnost kladkostroje		$\phi_1$	1,025
3	A1 uzel 21 zatížen	Vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		Hmotnost břemena zdvihu	i2	$\phi_2$	1,1482
		Odstředivá síla při otáčení	i40	$\phi_5$	1
		Setrvačná síla od pojezdu	isp	$\phi_5$	1,25
4	A1 uzel 21 nezatížen	Vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		Hmotnost kladkostroje		$\phi_1$	1,025
5	A2 uzel 6 zatížen	Vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		Hmotnost břemena zdvihu	i2	$\phi_3$	-0,791
		Odstředivá síla při otáčení	i4	$\phi_5$	1
		Setrvačná síla od pojezdu	isp	$\phi_5$	1,25
6	A2 uzel 6 nezatížen	Vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		hmotnost kladkostroje		$\phi_1$	1,025
7	A2 uzel 21 zatížen	vlastní hmotnost	i1	$\phi_1$	1,025
		hmotnost břemena zdvihu	i2	$\phi_3$	-0,791
		odstředivá síla při otáčení	i4	$\phi_5$	1
		setrvačná síla od pojezdu	isp	$\phi_5$	1,25

8	A2 uzel 21 nezatížen	vlastní hmotnost	i1	$\phi 1$	1,025
		hmotnost kladkostroje		$\phi 1$	1,025

### 8.3 PŘEHLED VÝSLEDKŮ KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ

Tab. 13 Vnitřní síly na sloupu - globální extrémy

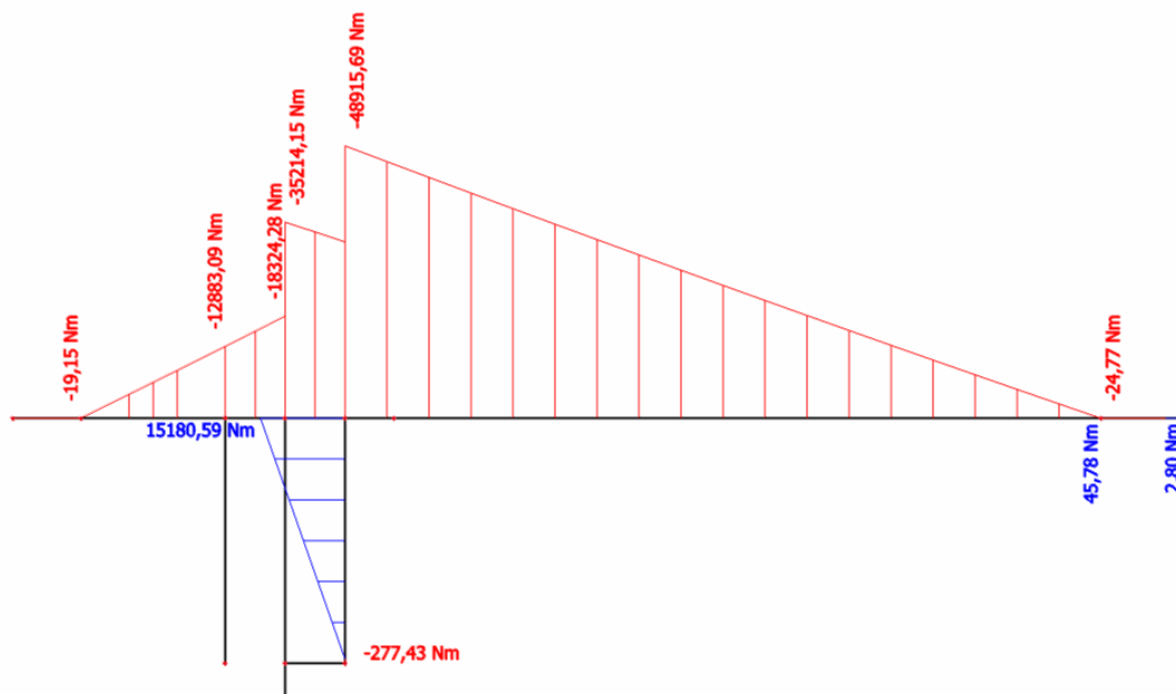
Prut	Kombinace zatížení	dx [m]	N [N]	Vz [N]	My [Nm]
B2	A1 uzel 6	0	<b>-45948</b>	611,25	-36347
B2	A3 uzel 6	0	<b>-42684,5</b>	0	-27790,6
B1	A2 uzel 6	0	9923,87	<b>60133,8</b>	-10111
B1	B2 uzel 6	0	8612,79	<b>50319</b>	-8461
B2	A2 uzel 6	1638	-16844	613,42	<b>47534,5</b>
B2	B2 uzel 6	1638	-14865	503,33	<b>39759,6</b>



Obr. 10 Průběh  $M_y$  stav A2 uzel 6

Tab. 14 Vnitřní síly na výložníku - globální extrémy

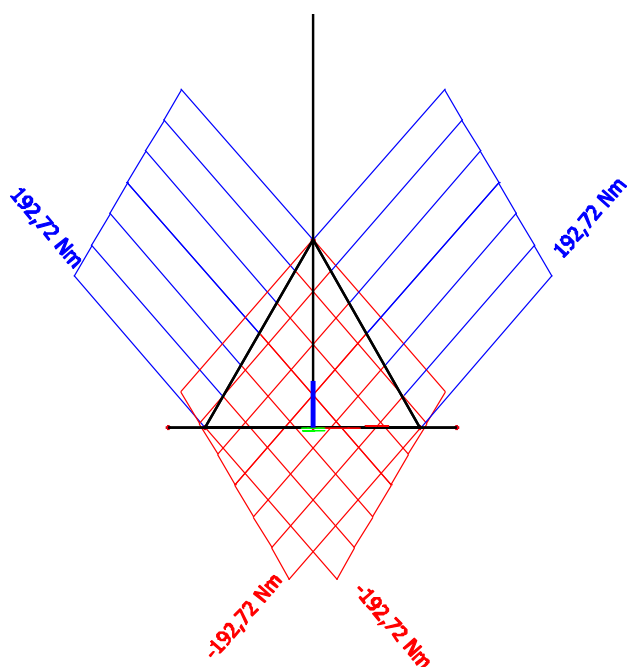
Prut	Kombinace zatížení	dx [m]	N [N]	Vy [N]	My [Nm]
B4	A1 uzel 6	0	<b>17787</b>	16159	-35214
B4	A1 uzel 6	220	<b>17787</b>	16024	-31674
B4	2 uzel 6	0	-19562	<b>-5413,9</b>	8859,1
B4	A2 uzel 6	220	-19562	<b>-5548,7</b>	7653,2
B7	A1 uzel 6	0	0	24800	-18324
B7	A1 uzel 21	0	0	24800	-18324
B5	A1 uzel 6	0	611,25	18464	<b>-48916</b>
B5	A3 uzel 6	0	0	15943,1	<b>-42045</b>

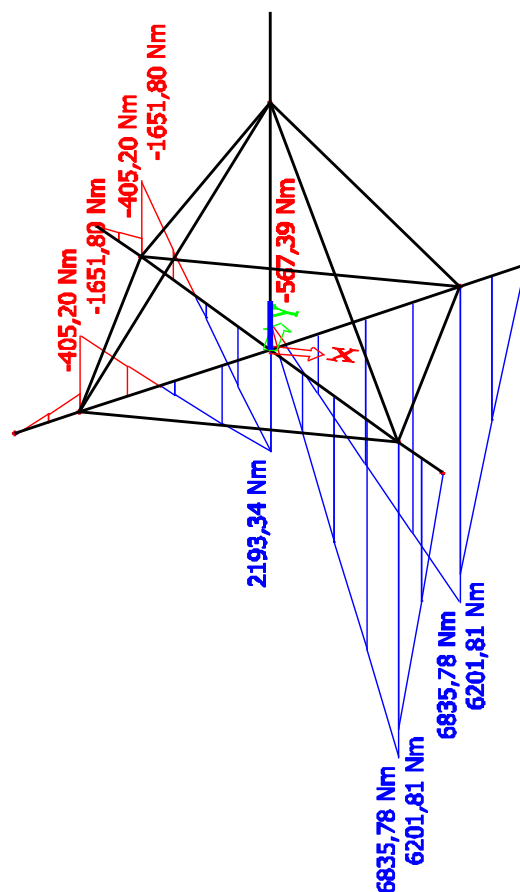
Obr. 11 Průběh  $M_y$  stav A1 uzel 6

Tab. 15 Vnitřní síly v základně - globální extrémy

Prut	Kombinace zatížení	dx [m]	N [N]	Vy [N]	Vz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
B20	A1 uzel 6	0	<b>-51902</b>	-964,42	1638,6	-150,58	261,49	252,03
B21	A1 uzel 6	0	<b>-51902</b>	964,42	1638,6	150,58	261,49	-252,03
B20	C4 uzel 6	0	<b>-49716</b>	-978,4	1754,9	-152,91	183,46	253,19
B21	C4 uzel 6	0	<b>-49716</b>	978,4	1754,9	152,91	183,46	-253,19
B20	A2 uzel 6	0	29065	<b>1234,6</b>	-3231,9	192,72	681,68	-323,11
B20	A2 uzel 6	1008,2	29241	<b>1234,6</b>	-3375,1	192,72	-2649	921,6
B21	A2 uzel 6	0	29065	<b>-1234,6</b>	-3231,9	-192,72	681,68	323,11

B21	A2 uzel 6	1008,2	29241	<b>-1234,6</b>	-3375,1	-192,72	-2649	-921,6
B22	A2 uzel 6	0	-48772	<b>-1234,6</b>	2666,5	-192,72	-138,4	323,11
B22	A2 uzel 6	1008,2	-48596	<b>-1234,6</b>	2523,3	-192,72	2477,9	-921,6
B23	A2 uzel 6	0	-48772	<b>1234,6</b>	2666,5	192,72	-138,4	-323,11
B23	A2 uzel 6	1008,2	-48596	<b>1234,6</b>	2523,3	192,72	2477,9	921,6
B16	A1 uzel 6	216,37	0	0	<b>-28709</b>	0	0	0
B17	A1 uzel 6	216,37	0	0	<b>-28709</b>	0	0	0
B16	C4 uzel 6	216,37	0	0	<b>-27050</b>	0	0	0
B17	C4 uzel 6	216,37	0	0	<b>-27050</b>	0	0	0
B20	A2 uzel 6	0	29065	1234,6	-3231,9	<b>192,72</b>	681,68	-323,11
B20	A2 uzel 6	1008,2	29241	1234,6	-3375,1	<b>192,72</b>	-2649	921,6
B21	A2 uzel 6	0	29065	-1234,6	-3231,9	<b>-192,72</b>	681,68	323,11
B21	A2 uzel 6	1008,2	29241	-1234,6	-3375,1	<b>-192,72</b>	-2649	-921,6
B22	A2 uzel 6	0	-48772	-1234,6	2666,5	<b>-192,72</b>	-138,4	323,11
B22	A2 uzel 6	1008,2	-48596	-1234,6	2523,3	<b>-192,72</b>	2477,9	-921,6
B23	A2 uzel 6	0	-48772	1234,6	2666,5	<b>192,72</b>	-138,4	-323,11
B23	A2 uzel 6	1008,2	-48596	1234,6	2523,3	<b>192,72</b>	2477,9	921,6
B12	A1 uzel 6	636,4	18079	-1,9	11495	-68,52	<b>6835,8</b>	-124,58
B15	A1 uzel 6	636,4	18079	1,9	11495	68,52	<b>6835,8</b>	124,58
B13	A2 uzel 6	636,4	21539	17,64	12439	90,48	6589,9	<b>162,26</b>
B14	A2 uzel 6	636,4	21539	-17,64	12439	-90,48	6589,9	<b>-162,26</b>

Obr. 12 Průběhy  $M_x$  ve vztěrách základny stav A2 uzel 6



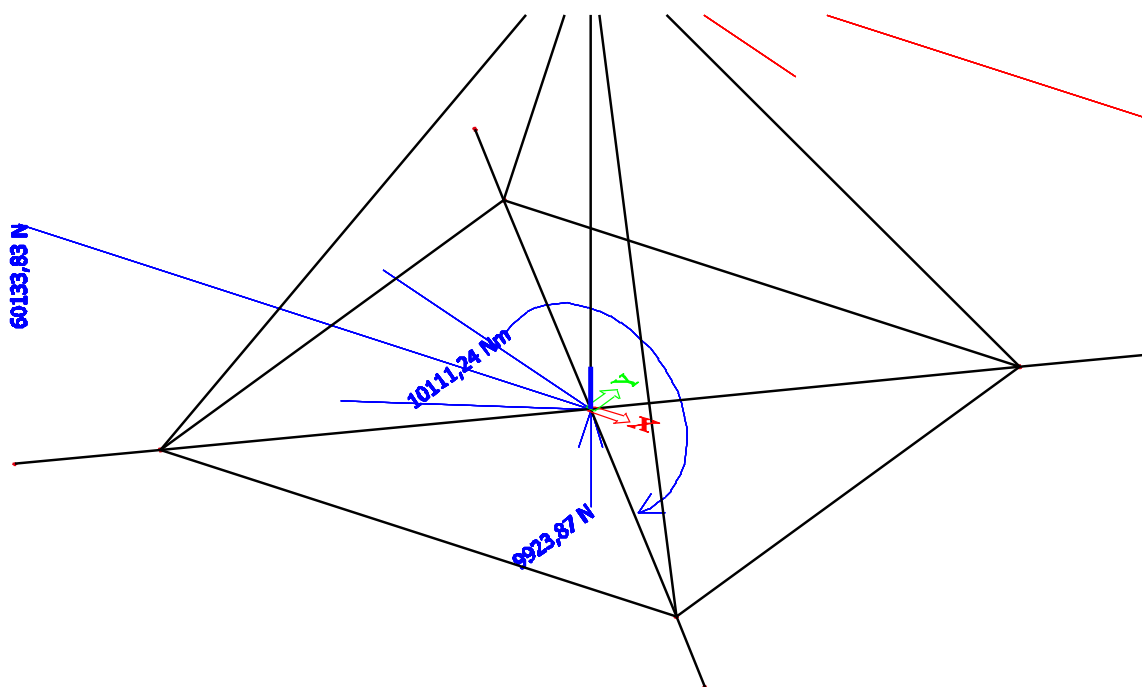
Obr. 13 Průběh  $M_y$  v základním kříži stav A1 uzel 6

### Síly v přípojkách

Tab. 16 Síly v přípoji FC1 uzel N1 - pata sloupu, spoj sloupu a základního kříže

Kombinace	Přípoj	Uzel	Prut	Rx [N]	Rz [N]	My [Nm]
A2 uzel 6	FC1	N1	B1	<b>60133,8</b>	9923,87	<b>10111,2</b>
A1 uzel 6	FC1	N1	B1	-46994	<b>15652,3</b>	-7906,5
A2 uzel 6	FC1	N1	B1	<b>60133,8</b>	9923,87	<b>10111,2</b>

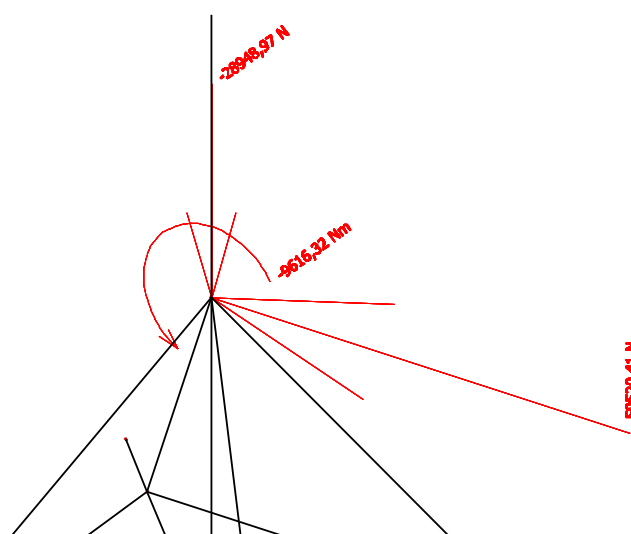




Obr. 14 Síly v přípoji FC1 pata sloupu, stav A2 uzel 6

Tab. 17 Síly v přípoji FC2 - spoj sloupu a vzpěr

Kombinace	Přípoj	Uzel	Prut	Rx [N]	Rz [N]	My [Nm]
A2 uzel 6	FC2	N2	B1, B2	<b>-59520</b>	-28949	<b>-9616,3</b>
A1 uzel 6	FC2	N2	B1, B2	47605,1	<b>-62305</b>	7504,57
A2 uzel 6	FC2	N2	B1, B2	<b>-59520</b>	-28949	<b>-9616,3</b>

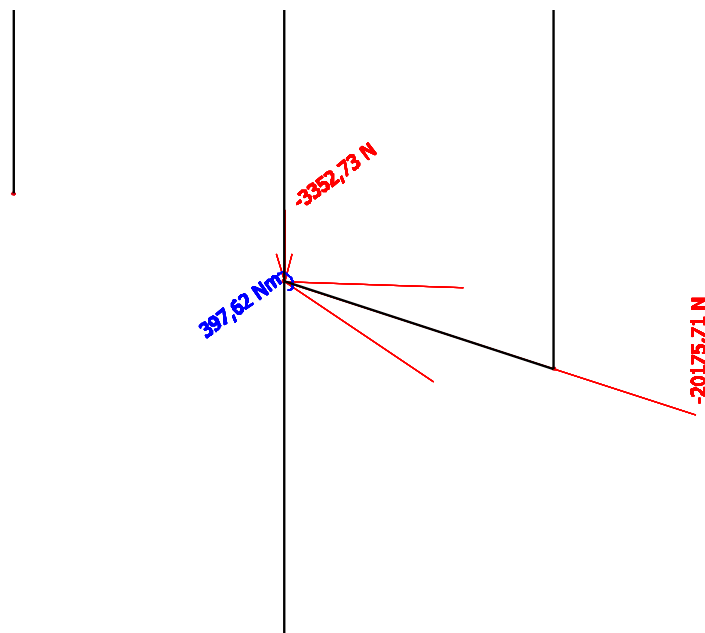


Obr. 15 Síly v přípoji FC2 - spoj sloupu a vzpěr, stav A2 uzel 6

Tab. 18 Síly v přípoji FC3 - rolný

Kombinace	Přípoj	Uzel	Prut	Rx [N]	Rz [N]	My [Nm]
A2 uzel 6	FC3	N3	B2, B3	-20176	-3352,7	397,62

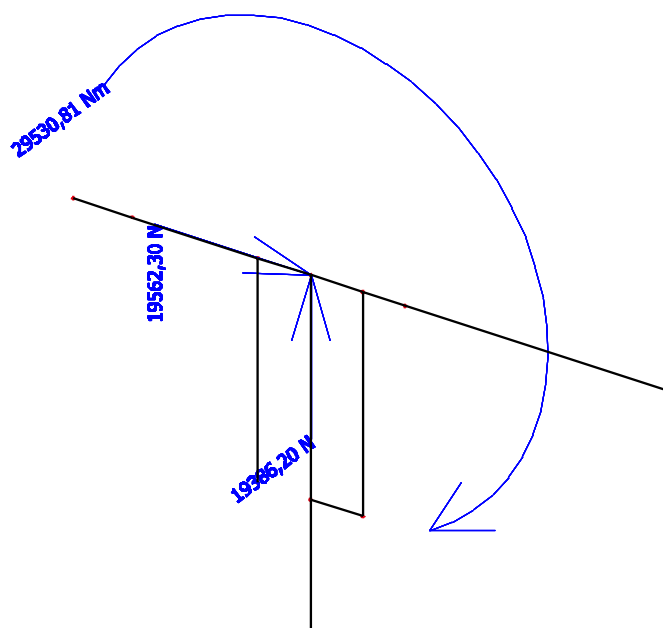
Z důvodu záporné reakce ve směru X je tento jeřáb vybaven podpěrou jak ze strany výložníku tak i ze strany protivýložníku.



Obr. 16 Síly v přípoji FC3 rolný, stav A2 uzel 6

Tab. 19 Síly v přípoji FC4 - ložisko výložníku

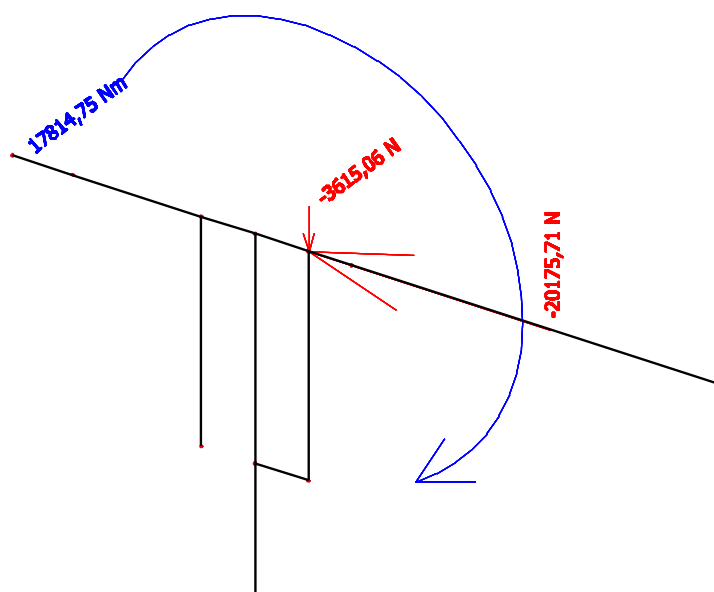
Kombinace	Přípoj	Uzel	Prut	Rx [N]	Rz [N]	My [Nm]
A2 uzel 6	FC4	N4	B3	<b>19562,3</b>	19386,2	<b>29530,8</b>
A1 uzel 6	FC4	N4	B3	-17787	<b>40958,9</b>	-19024
A2 uzel 6	FC4	N4	B3	<b>19562,3</b>	19386,2	<b>29530,8</b>



Obr. 17 Síly v přípoji FC4 ložisko výložníku, stav A2 uzel 6

Tab. 20 Síly v přípoji FC5 spoj výložníku a podpěry

Kombinace	Přípoj	Uzel	Prut	Rx [N]	Rz [N]	My [Nm]
a2 uzel 6	FC5	N5	B11	-20176	-3615,1	17814,8

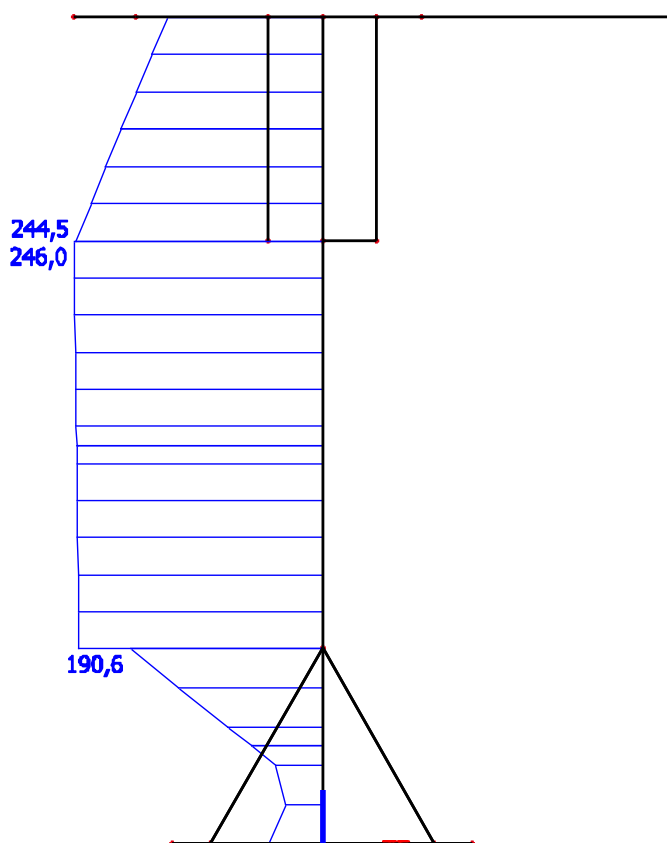


Obr. 18 Síly v přípoji FC5 spoj výložníku a podpěry, stav A2 uzel6

## Napětí na prutech

Tab. 21 Napětí na prutech sloupu - globální extrém

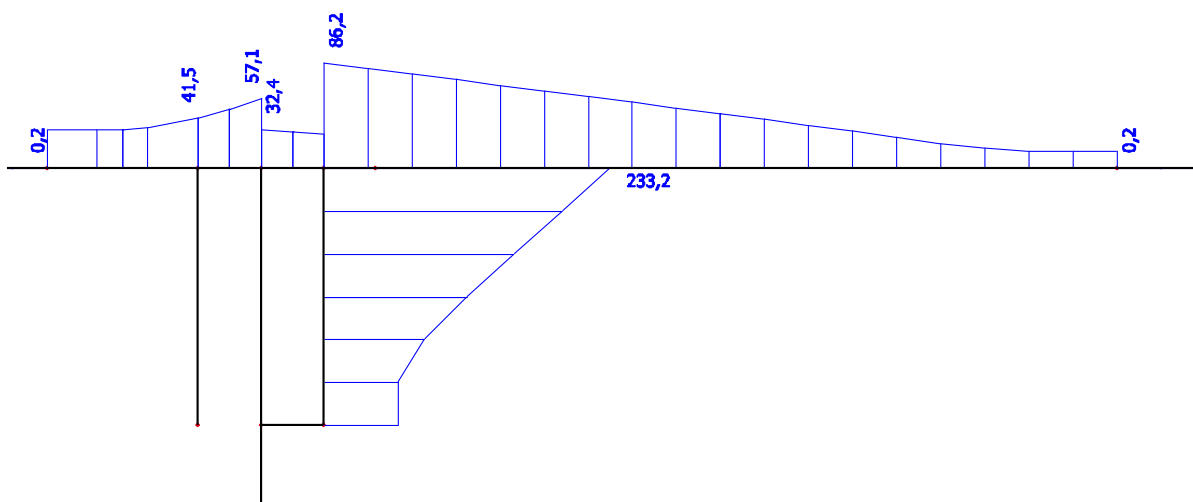
Prut	Kombinace zatížení	dx [m]	N - [MPa]	N + [MPa]	$\tau$ [Mpa]	Von Mises [MPa]
B2	A2 uzel 6	1638	<b>-246</b>		0	<b>246</b>
B2	C4 uzel 6	0	<b>-193,9</b>		0	193,9
B1	A2 uzel 6	782		<b>190,6</b>	0	190,6
B2	A1 uzel 6	0		<b>177,8</b>	0	177,8
B1	A2 uzel 6	156,4		1,8	<b>21</b>	36,3
B1	C4 uzel 6	156,4		1,9	<b>16,7</b>	28,9
B2	A2 uzel 6	1638	-246		0	<b>246</b>
B2	C4 uzel 6	0	-193,9		0	<b>193,9</b>



Obr. 19 Průběh napětí Von Mises na sloupu, stav A2 uzel 6

Tab. 22 Průběh napětí na výložníku a podpěře - globální extrémy

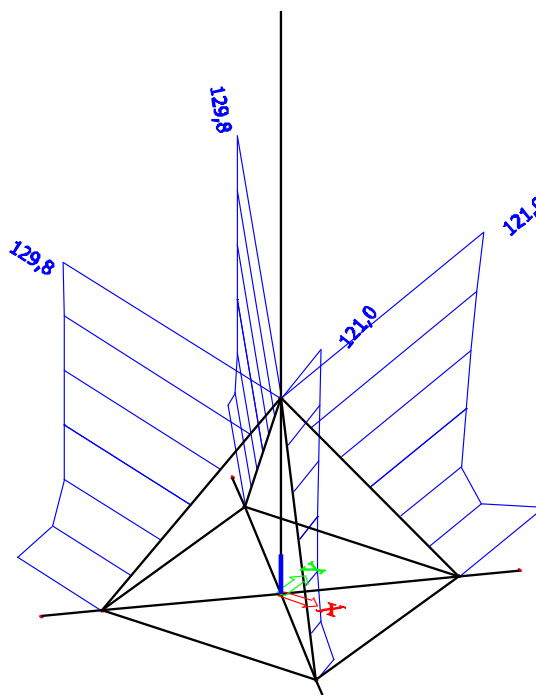
Prut	Kombinace zatížení	dx [m]	N - [MPa]	N + [MPa]	$\tau$ [Mpa]	Von Mises [MPa]
B11	A1 uzel 6/2	0	<b>-197,9</b>		7,7	198,4
B11	A2 uzel 6/4	0		<b>232,7</b>	9,1	<b>233,2</b>
B5	A1 uzel 6/2	0	-150,7		0	150,7
B4	A1 uzel 6/2	0		113,1	3	<b>113,2</b>



Obr. 20 Průběh napětí Von Mises na výložníku a podpěře, stav A2 uzel 6

Tab. 23 Napětí v základně - globální extrémy

Prut	Kombinace zatížení	dx [m]	N - [MPa]	N + [MPa]	$\tau$ [Mpa]	Von Mises [MPa]
B22	A2 uzel 6/4	1008,2	<b>-129,2</b>		7,3	<b>129,8</b>
B23	A2 uzel 6/4	1008,2	<b>-129,2</b>		7,3	<b>129,8</b>
B20	A2 uzel 6/4	1008,2		<b>120,2</b>	7,9	121
B21	A2 uzel 6/4	1008,2		<b>120,2</b>	7,9	121
B16	A1 uzel 6/2	216,38		0	<b>18,5</b>	32
B17	A1 uzel 6/2	216,38	<b>0</b>		<b>18,5</b>	32
B22	A2 uzel 6/4	1008,2	<b>-129,2</b>		7,3	<b>129,8</b>
B23	A2 uzel 6/4	1008,2	<b>-129,2</b>		7,3	<b>129,8</b>



Obr. 21 Napětí Von Mises na vzpěrách základny, stav A2 uzel 6

## Únavové napětí

Tab. 24 Rozkmit napětí - extrémy jednotlivých stavů z celé konstrukce

Stav	Prvek	dx [m]	$\sigma_u$ [MPa]	$\sigma_b$ [MPa]	$\sigma_u - \sigma_b$ [Mpa]
únava A1 uzel 6	B2	0	<b>82,2</b>	<b>32,7</b>	<b>49,5</b>
	B2	1638	<b>79,7</b>	<b>32,5</b>	<b>47,2</b>
	B5	0	<b>67,8</b>	<b>9,3</b>	<b>58,5</b>
	B11	0	<b>84,7</b>	<b>22,2</b>	<b>62,5</b>
Únava A1 uzel 21	B12	636,396	<b>1,9</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>
	B15	636,396	<b>1,9</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>
	B18	0	<b>15,2</b>	<b>8,7</b>	<b>6,5</b>
	B17	216,375	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>
Únava A2 uzel 6	B2	1638	<b>116,7</b>	<b>32,7</b>	<b>84</b>
	B2	0	<b>114,4</b>	<b>32,5</b>	<b>81,9</b>
	B3	0	<b>116</b>	<b>32,4</b>	<b>83,6</b>
	B11	0	<b>109,9</b>	<b>22,2</b>	<b>87,7</b>
Únava A2 uzel 21	B16	216,375	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>
	B17	216,375	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>
	B18	0	<b>15,2</b>	<b>8,7</b>	<b>6,5</b>

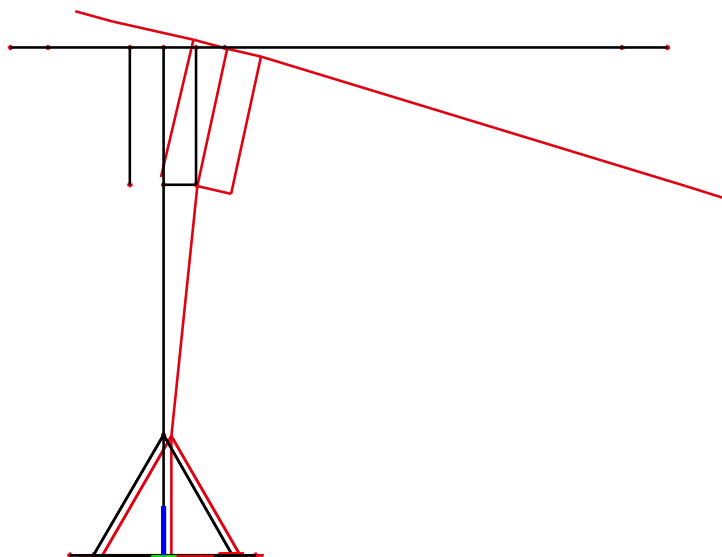
Kde:

$\sigma_u$  [MPa] Horní krajní hodnota rozkmitu napětí  
 $\sigma_b$  [MPa] Spodní krajní hodnota rozkmitu napětí  
 $\sigma_u - \sigma_b$  [MPa] Rozkmit napětí

## Deformace konstrukce

Tab. 25 Přemístění a natočení uzlů

Uzel	Kombinace zatížení	U <sub>x</sub> [mm]	U <sub>z</sub> [mm]	F <sub>iy</sub> [mrad]
N4	a1 uzel 6	<b>7,26</b>	-0,044	3,102
N7	a1 uzel 6	<b>7,095</b>	<b>-12,595</b>	<b>4,103</b>
N4	a2 uzel 21	-2,61	<b>4,158</b>	-1,254
N7	a2 uzel 21	-3,015	-0,033	-1,529
N7	B2 uzel 21	-2,235	0,198	-1,133
N4	B3 uzel 6	-1,95	<b>3,806</b>	-1,078



Obr. 22 deformace konstrukce, stav A1 uzel 6

Povolené imperfekt prutů [8]

Výložník

$$y_{vdov} = \frac{L_v}{300} = \frac{3300}{300} = 11 \text{ mm} \quad (27)$$

Kde:

$L_v$  [mm] délka výložníku

Sloup

$$y_{sdov} = \frac{L_s}{300} = \frac{3220}{300} = 10,7 \text{ mm} \quad (28)$$

Kde:

$L_s$  [mm] délka sloupu

Skutečné posunutí výložníku

$$y_{vskut} = 12,6 - (\sin 0,177 \cdot 3320) = 2,65 \text{ mm} \quad (29)$$

Skutečné natočení výložníku

$$\varepsilon_{vskut} = 7,26 - 4,1 = 3,16 \text{ mrad} \quad (30)$$

Tab. 26 Posouzení deformace

	Skutečné posunutí [mm]	Dovolené posunutí [mm]	Skutečné natočení [°]	Dovolené natočení [°]	Dosudek
Sloup	7,26	10,7	0,177	0,21	Vyhovuje
Výložník	2,65	11	0,181	0,21	Vyhovuje



## 9 PROKÁZÁNÍ ZPŮSOBILOSTI

Účelem je prokázání způsobilosti, že návrhová napětí nebo síly  $S_d$  nejsou větší než únosnost  $R_d$ . [8]

$$S_d \leq R_d \quad (31)$$

Návrhová napětí nebo návrhové síly  $S_d$  musí být určeny použitím příslušných zatížení, kombinací zatížení a dílčích součinitelů bezpečnosti podle ČSN EN 13001-2. []

Pro nosné prvky se musí prokázat:

- Prokázání statické únosnosti
- Prokázání únavové pevnosti
- Prokázání styků nosníku dutých profilů
- Prokázání pružnosti stability

### 9.1 PROKÁZÁNÍ STATICKE ÚNOSNOSTI

Prokázání se provádí pro nosné prvky a spoje při zohlednění nejnepríznivějších účinků zatížení při kombinacích A, B, C podle ČSN EN 13001-2 a při použití návrhové únosnosti.

Návrhová napětí únosnosti pro nosné prvky:

Pro normálová napětí [8]

$$f_{Rd \sigma} = 323 \text{ MPa} \quad (31)$$

Pro smyková napětí [8]

$$f_{Rd \tau} = 183 \text{ MPa} \quad (33)$$

Tab. 27 Prokázání statické únosnosti

Skupina	Max. Návrhové napětí normálové [MPa]	Max. návrhové napětí smykové [MPa]	Návrhové napětí únosnosti normálové [MPa]	Návrhové napětí únosnosti smykové [MPa]	Posudek
Sloup	-129,2	18,5	323	183	vyhovuje
Výložník + podpěra	-197,9	9,1			vyhovuje
Základna	-129,2	18,5			vyhovuje

## 9.2 PROKÁZÁNÍ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI

Prokázání únavové pevnosti má za účel zabránit nebezpečí tvoření a zároveň rozvojem kritických trhlin v nosných prvcích nebo spojích při cyklickém namáhání. [8]

Pro uvažovaný detail musí být prokázáno, že:

$$\Delta\sigma_{Sd} \leq \Delta\sigma_{Rd} \quad (34)$$

$$\Delta\sigma_{Rd} = \sigma_u - \sigma_h \quad (35)$$

Kde:

$\Delta\sigma_{Sd}$  [MPa] největší rozkmit navrhových napětí

$\sigma_u, \sigma_h$  [MPa] krajní hodnoty návrhového napětí

$\Delta\sigma_{Rd}$  [MPa] návrhový rozkmit napětí

### Návrhové napětí

Přímé použití parametru historie napětí

$$\Delta\sigma_{Rd} = \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{mf} \cdot \sqrt[m]{S_m}} = \frac{160}{1,2 \cdot \sqrt[3]{0,125}} = 266 \text{ MPa} \quad (36)$$

Kde:

$\Delta\sigma_{Rd}$  [MPa] návrhový rozkmit napětí

$\Delta\sigma_c$  [MPa] charakteristická únavová pevnost detailu při  $m=3$

$\gamma_{mf}$  [-] dílčí součinitel únavové pevnosti  
pro části nebezpečné při porušení s nebezpečím pro osoby = 1,2

$m$  [-] konstanta sklonu křivky  $\log \Delta\sigma - \log N$   
 $m=3$

$S_m$  [-] parametr historie napětí

Tab. 28 Prokázání únavové únosnosti

Kombinace	Prut	Max. rozkmit návrhových napětí [MPa]	Návrhový rozkmit napětí [MPa]	Posudek
Únava A1 uzel 6	B11	62,5	266	vyhovuje
Únava A1 uzel 21	B18	6,5		vyhovuje
Únava A2 uzel 6	B11	87,7		vyhovuje
Únava A2 uzel 21	B18	6,5		vyhovuje

### 9.3 SVAROVÉ SPOJE

Návrhová únosnost svaru  $f_{w,Rd}$  se vypočítá v závislosti na čísle rovnice uveden v tabulce 8 [8]

$$f_{w,Rd} = \frac{\alpha_w \cdot f_y}{\gamma_m} = \frac{0,6 \cdot 355}{1,1} = 193,6 \text{ MPa} \quad (37)$$

Kde:

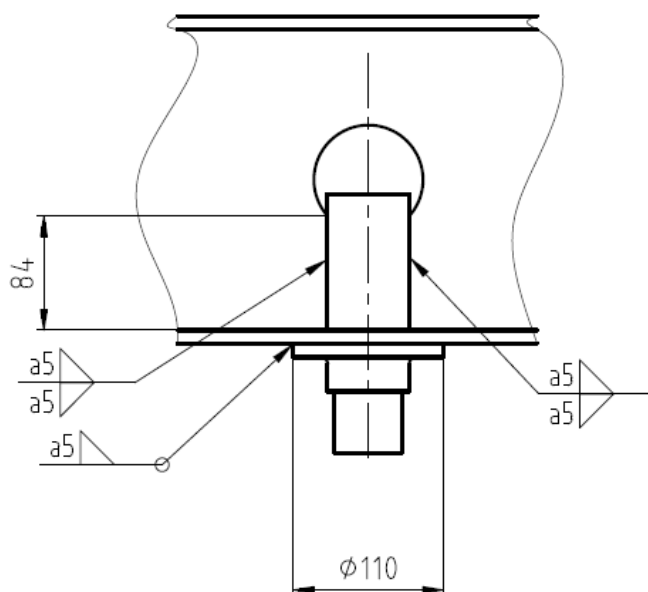
$f_{w,Rd}$  [MPa] návrhová únosnost svaru

$\alpha_w$  [-] součinitel uvedený v [] v závislosti na typu svaru, druhu napětí a materiálu

$f_y$  [MPa] mez kluzu materiálu

$\gamma_m$  [-] součinitel bezpečnosti materiálu

#### Svar čepu s výložníkem



Obr. 22 Svar čepu s výložníkem

Návrhové napětí ve svaru []:

$$\tau_{s1} = \frac{F_t}{a_{r1} \cdot l_1} = \frac{19526,3}{5(\pi \cdot 110 + 4 \cdot 84)} = 5,73 \text{ MPa} \quad (38)$$

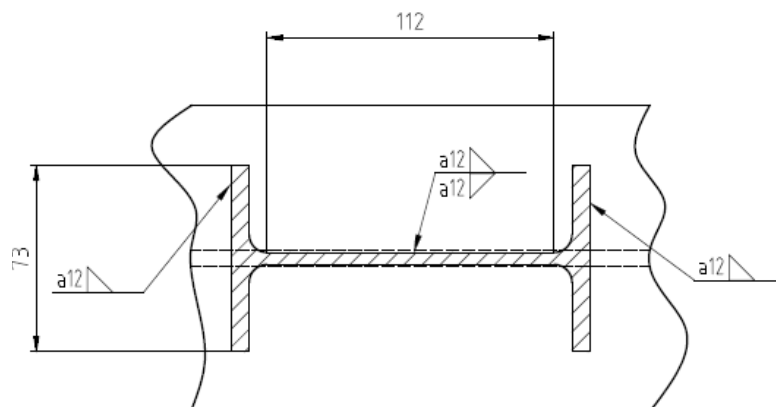
Kde:

$\tau_{si}$  [MPa] návrhové napětí ve svaru

$F_t$  [N] smyková síla (max. Rx v přípojích FC4)

$a_{r1}$  [mm] účinná výška svaru

$l_1$  [mm] účinná délka svaru

**Svar výložníku a podpěry***Obr. 23 Svar výložníku a podpěry*

Plocha účinného průřezu svaru: [9]

$$S_1 = 1,141 \cdot a \cdot l_2 = 1,141 \cdot 12 \cdot (73 + 112) = 2533 \text{ mm}^2 \quad (39)$$

Kde:

$S_1$  [mm<sup>2</sup>] plocha účinného průřezu svaru

$a$  [mm] výška svaru

$l_2$  [mm] účinná délka svaru

Jednotkový kvadratický moment účinného průřezu:

$$J_{zu} = \frac{h^2}{6} (3b + h) = \frac{112^2}{6} (3 \cdot 73 + 112) = 692010 \text{ mm}^3 \quad (40)$$

Kde:

$h$  [mm] výška svaru

$b$  [mm] šířka svaru

Celkový osový kvadratický moment účinného průřezu:

$$J_z = 0,707 \cdot a \cdot J_{zu} = 0,707 \cdot 12 \cdot 692010 = 2446255,4 \text{ mm}^4 \quad (41)$$

Smykové napětí od posouvající síly:

$$\tau_1 = \frac{F_{t1}}{S_1} = \frac{20176}{2533} = 8 \text{ MPa} \quad (42)$$

Kde:

$F_{t1}$  [N] smyková síla (max. Rx v přípoji FC5)

Smykové napětí od působícího momentu:

$$\tau_2 = \frac{M_{FC}}{\frac{J_z}{r}} = \frac{17815000}{\frac{2446255,4}{70}} = 152 \text{ MPa} \quad (43)$$

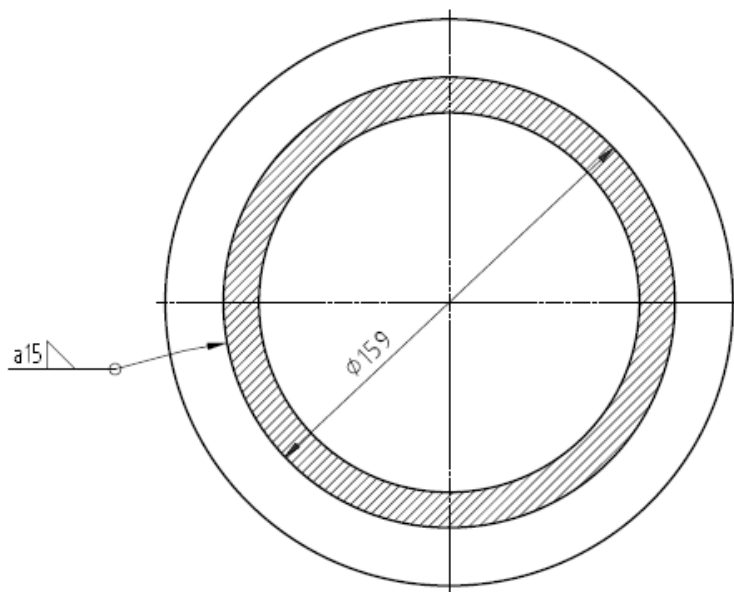
Kde:

$M_{FC}$  [Nmm] ohybový moment v přípoji FC5  
 $r$  [mm] vzdálenost krajního vlákna svaru

Výsledné smykové napětí ve svaru:

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \sqrt{8^2 + 152^2} = 152,2 \text{ MPa} \quad (44)$$

### Svar u paty sloupu



Obr. 23 Svar u paty sloupu

Plocha účinného průřezu svaru

$$S_2 = 1,141 \cdot \pi \cdot a \cdot r_s = 1,141 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 19,5 = 4242 \text{ mm}^2 \quad (45)$$

Kde:

$r_s$  [mm] vnější poloměr sloupu

Jednotkový kvadratický moment účinného průřezu

$$J_{zus} = \pi \cdot r_s^3 = \pi \cdot 79,5^3 \cdot 1578524,3 \text{ mm}^3 \quad (46)$$

Celkový osový kvadratický moment účinného průřezu svaru

$$J_{zs} = 0,707 \cdot a \cdot J_{zus} = 0,707 \cdot 15 \cdot 1578524,3 \text{ mm}^4 \quad (47)$$

Smykové napětí od posouvající síly

$$\tau_{1s} = \frac{F_{t2}}{S_2} = \frac{60133}{4272} = 14,1 \text{ MPa} \quad (48)$$

Kde:

$F_{t2}$  [N] smyková síla (max. v přípoji FC1)

Smyková síla od působícího momentu

$$\tau_{2s} = \frac{M_{FC2}}{\frac{J_{zs}}{r_s}} = \frac{10111000}{\frac{1578524,3}{79,5}} = 48 \text{ MPa} \quad (49)$$

Kde:

$M_{FC2}$  [Nmm] ohybový moment v přípoji FC1

Výsledné smykové napětí ve svaru

$$\tau_2 = \sqrt{\tau_{1s}^2 + \tau_{2s}^2} = \sqrt{14,1^2 + 48^2} = 50 \text{ MPa} \quad (50)$$

Tab. 29 Prokázání únosnosti svarových spojů

Svarový spoj	Návrhové smykové napětí [MPa]	Návrhová únosnost svaru [MPa]	Posudek
Čep výložníku	5,73	193,6	Vyhovuje
Podpěra výložníku	152,2		Vyhovuje
Pata sloupu	50		Vyhovuje

## 9.4 PROKÁZÁNÍ PRUŽNOSTNÍ STABILITY

Prokázání pružnostní stability se provádí pro ověření, zda ideálně přímé pruty konstrukce nebo komponenty neztratí stabilitu příčnou deformací způsobenou výhradně tlakovými silami nebo tlakovým napětím. [8]

V konstrukci se nenachází prut, který by byl namáhán výhradně tlakovými silami.

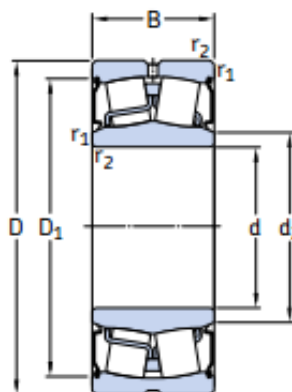
## 10 OSTATNÍ PRVKY KONSTRUKCE

### 10.1 LOŽISKO VÝLOŽNÍKU

V přípoji FC4 se vyskytuje i značná axiální síla, z tohoto důvodu bylo voleno dvouřadé soudečkové ložisko SKF 22310 E [5]

Tab. 30 Základní rozměry ložiska

d	50	mm
D	110	mm
B	40	mm
d <sub>2</sub>	63,9	mm
D <sub>1</sub>	91,9	mm
b	6	mm
K	3	mm
r <sub>1,2</sub>	min 2	mm



Obr. 24 Ložisko SKF 22310 E [5]

Tab. 31 Data pro výpočet ložiska

Základní dynamická únosnost	C	228	kN
Základní statická únosnost	C <sub>0</sub>	216	kN
Mezní únavové zatížení	P <sub>u</sub>	23.úno	kN
Referenční otáčky		4800	r/min
Mezní otáčky		6300	r/min
Výpočtový součinitel	e	0.37	
Výpočtový součinitel	Y <sub>1</sub>	1,8	
Výpočtový součinitel	Y <sub>2</sub>	2,7	
Výpočtový součinitel	Y <sub>0</sub>	1,8	

Otáčky výložníku jsou velmi nízké, proto bylo ložisko kontrolováno pouze na statickou únosnost.

Ekvivalentní statické zatížení ložiska [10]

$$P_o = F_{rFC} + Y_0 \cdot F_{aFC4} = 19662 + 1,8 \cdot 40958 = 93386 \text{ N} \quad (51)$$

Kde:



$F_{rFC4}$  [N] radialní síla v přípoji FC4

$F_{aFC4}$  [N] axiální síla v přípoji FC4

$Y_0$  [-] součinitel axiálního zatížení ložiska, viz Tab. 31

Potřebná statická únosnost [11]

$$C_o = s_0 \cdot P_0 = 2 \cdot 93386 = 186772 \text{ N} \quad (52)$$

Kde:

$s_0$  [-] součinitel statické bezpečnosti

Tab. 32 Posouzení ložiska

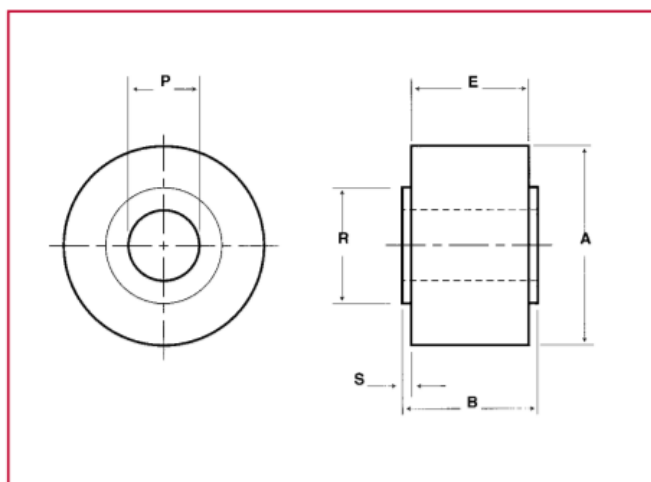
Potřebná statická únosnost [kN]	Základní statická únosnost [kN]	Posudek
186,772	216	vyhovuje

## 10.2 ROLNY PODPĚRY

Byly zvoleny rolly HCPA60 firmy T.E.A. TECHNIK s.r.o spolu s čepy MSHA20. [12]

Tab. 33 Technické údaje rolny

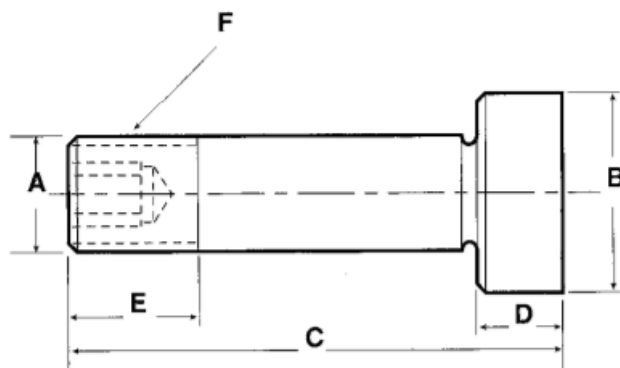
A	50	mm
B	40	mm
E	38	mm
P	20	mm
R	32	mm
S	1	mm
Typ ložiska	kuželíkové	
Únosnost rolny radiální statická	33900	N
Hmotnost	0,81	kg



Obr. 25 Rolna

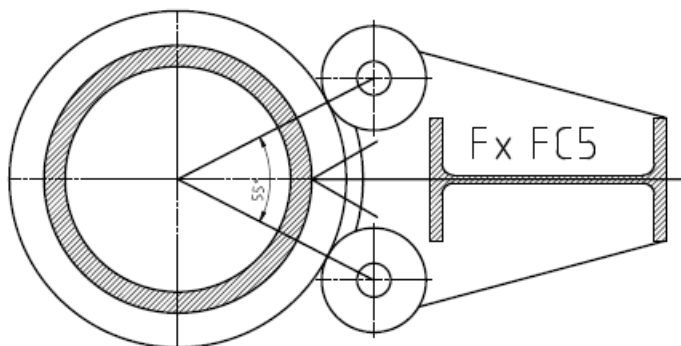
Tab. 34 Technické údaje čepu [12]

A	10	mm
B	31,75	mm
C	94	mm
D	16	mm
E	25	mm
F	M20x1,5	
G	M6x1	
H	8	
Hmotnost	0,7	kg



Obr. 26 Čep

## Kontrola únosnosti rolny



Obr. 27 Rozklad axiální síly na rolny

## Rozklad síly na rolny

$$F_{arol} = \frac{\frac{F_{xFC5}}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{20176}{2}}{\cos \frac{55}{2}} = 11373 \text{ N} \quad (53)$$

Kde:

$F_{arol}$	[N]	radiální síla na jednu rolnu
$F_{xFC5}$	[N]	radialní síla v přípoji FC5
$\alpha$	[°]	úhel mezi rolnama

Tab. 35 Posouzení rolny

radiální síla na rolnu [N]	statická radiální únosnost rolny [N]	posudek
11373	33900	vyhovuje

### 10.3 POJEZDOVÁ KOLA

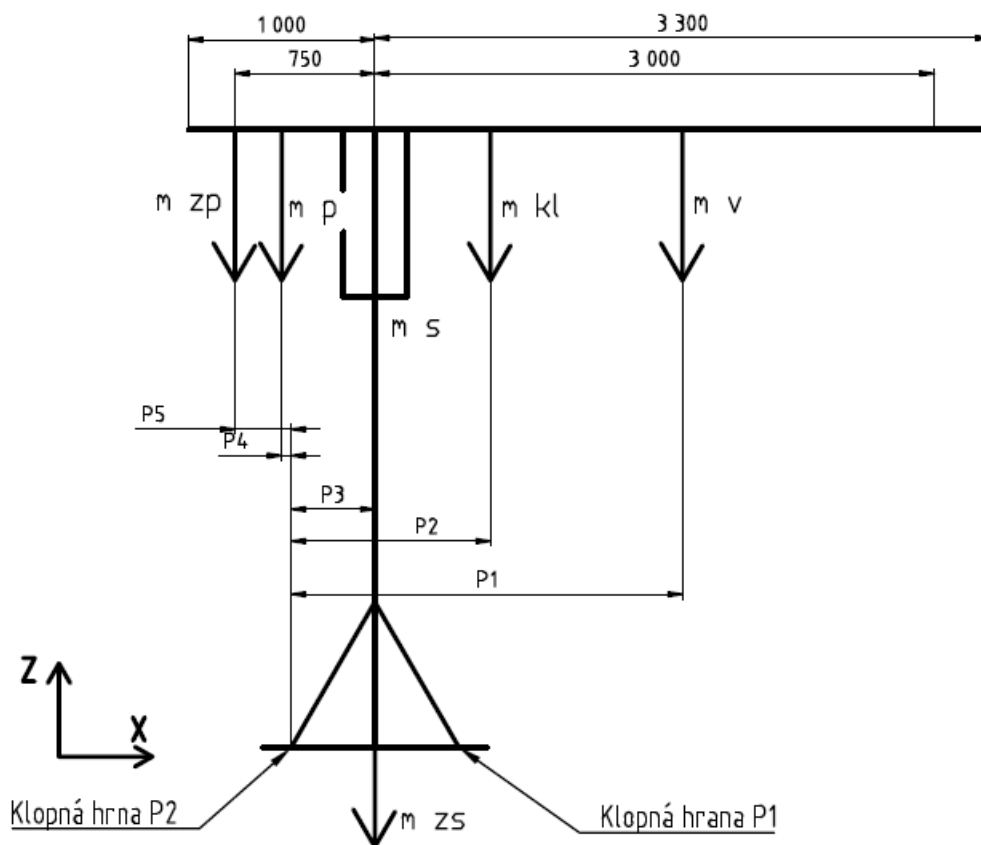
Vypočtena hmotnost jeřábu je 1880 kg, s korekcí o 10% zahrnující díly, u kterých nebyla počítaná hmotnost, jako jsou svary, kabeláž, atd., je výsledná hmotnost celé sestavy 2072 kg. Pro zajištění mobility jeřábu byla zvolena pojezdová kola od firmy ZABI [13]. Jedná se o polyuretanová kola s litinovým diskem a upínací deskou.

Tab. 36 Technické parametry pojezdových kol

Průměr kola	160 mm
Nosnost	600 kg
Způsob uchycení	otočná vidlice s upínací deskou
Šířka běhounu	50 mm
Vystředění kola	118 mm
Druh ložiska	kuličkové
Hmotnost	8,25 kg

Kola jsou k základnímu kříži uchycena v uzlech N13, N14, N15, N16.

Klopné momenty během postavení na pojezdových kolech



Obr. 28 Klopné momenty při ponechání závaží na protivýložníku

$$M_{klp} = (m_{zp} \cdot p_5 + m_p \cdot p_4)g = (1200 \cdot 0,3 + 37 \cdot 0,05)g = 3549 \text{ Nm} \quad (54)$$

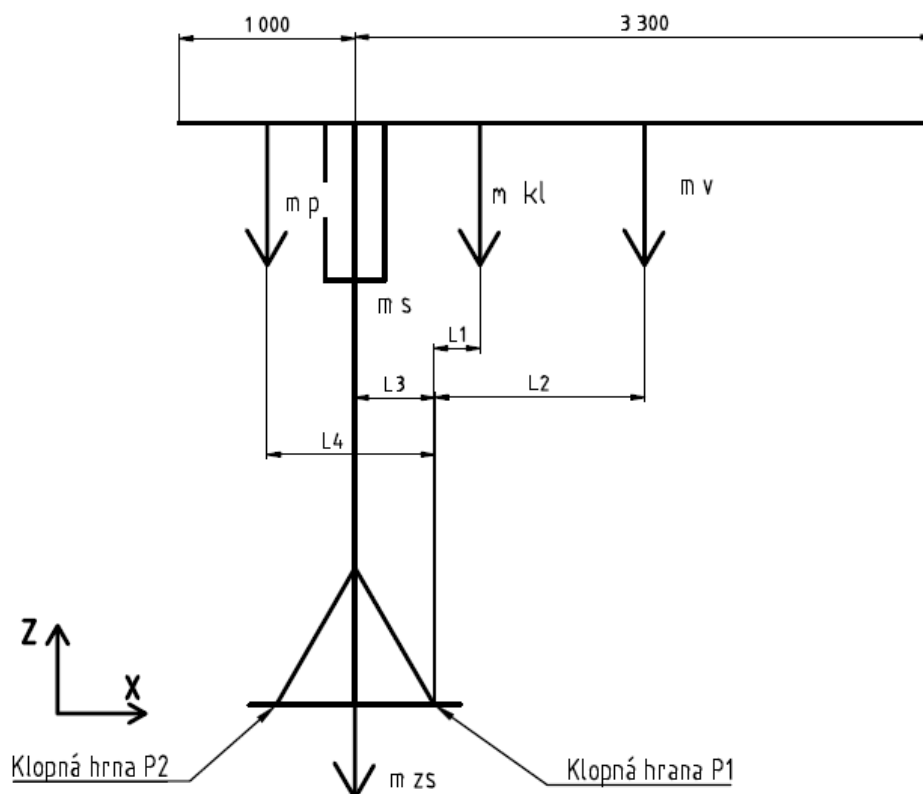
$$M_{vyp} = ((m_s + m_{zs}) \cdot p_3 + m_{kl} \cdot p_2 + m_v \cdot p_1)g = ((200 + 497) \cdot 0,45 + 55 \cdot 1,07 + 132 \cdot 2,1)g = 6366 \text{ Nm} \quad (55)$$

$$M_{vyp} > M_{klp} \quad (56)$$

Kde:

$M_{klp}$	[Nm]	klopný moment při postavení na kolech a ponechání závaží
$M_{vyp}$	[Nm]	vyrovnávací moment při postavení na kolech a ponechání závaží
$p_1$	=2,1 m	rameno výložníku
$p_2$	=1,07 m	rameno kladkostroje
$p_3$	=0,45 m	rameno hmotnosti sloupu a závaží u paty sloupu
$p_4$	=0,05 m	rameno protivýložníku
$p_5$	=0,3 m	rameno závaží na protivýložníku

Podmínka nepřeklopení vyhovuje, za stavu kdy je na protivyložníku ponecháno protizávaží nedojde k překlopení.



Obr. 29 Klopné momenty při demontovaném závaží

$$M_{klb} = (m_v \cdot l_2 + m_{kl} \cdot l_1)g = (132 \cdot 1,2 + 55 \cdot 0,17)g = 2177 \text{ Nm} \quad (57)$$

$$M_{vyb} = ((m_s + m_{zs}) \cdot l_3 + m_p \cdot l_4)g = ((200 + 497) \cdot 0,45 + 37 \cdot 0,95)g = 3413 \text{ Nm} \quad (58)$$

$$M_{vyb} > M_{klb} \quad (59)$$

Kde:

$M_{klb}$	[Nm]	klopný moment při postavení na kolech bez závaží
$M_{vyb}$	[Nm]	vyvážovací moment při postavení na kolech bez závaží
$l_1$	=0,17 m	rameno kladkostoje
$l_2$	=1,2 m	rameno výložníku
$l_3$	=0,45 m	rameno hmotnosti sloupu a závaží u paty sloupu
$l_4$	=0,95 m	rameno protivyložníku

Podmínka nepřeklopení vyhovuje, během stavu kdy je demontováno závaží na protivýložníku nedojde k překlopení.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl konstrukční návrh mobilního sloupového jeřábu s nosností 600 kg pro použití v dílenském prostředí. Nedílnou součástí tohoto návrhu byly také návrhové a kontrolní výpočty ocelové konstrukce a exponovaných dílů sestavy. Dále pak vytvoření výkresů sestavy ocelové konstrukce a sestavy sloupového jeřábu.

Jako konstrukční návrh byl zvolen jeřáb s pevnými podpěrami, patkami, a čtyřmi pojezdovými koly. Hlavní částí konstrukce tvoří sloup, který je vyrobený z bezešvé trubky o průměru 159 mm a tloušťce stěny 12,5 mm, dále pak výložník, který je zhotoven z profilu IPE 240 a základního rámu, na kterém jsou připevněna pojezdová kola, z dutých obdélníkových profilů o rozměrech 160x90x6 a 100x60x5. K výložníku jsou přivařeny podpěry z profilu IPE 140. Jako zdvihací mechanismus byl z katalogu výrobců zvolen kladkostroj firmy GIGA CH 2 630.4 –JE, který je osazen na elektrickém pojezdu od stejné firmy.

Dle normy ČSN EN 13001-1+A1 byla učena klasifikace jeřábu, dále dle normy ČSN EN 13001-2 byly zvolené dynamické součinitele a sestaveny příslušné kombinace zatížení. Tyto kombinace byly spolu s konstrukcí dílčími součiniteli bezpečnosti zadány do Programu SCIA ENGINEER a vyhodnoceny. Byly určeny vnitřní síly, napětí, únavová napětí, deformace a síly v přípojích.

Provedení Prokázání statické únosnosti, únavově pevnosti a únosnosti svaru bylo provedeno podle ČSN EN 1003-3-1+A1

Byl proveden návrh rozmístění závaží, dále návrh a kontrola ložiska otáčení výložníku a kontrola rolen.

Zpracování výkresové dokumentace ocelové konstrukce a sestavy jeřábu.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Jeřáby* [online]. In: . [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/cs/document/fullscreen/55585975/jeraby>
- [2] *Ruční jeřáby* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://www.kpc.cz/cs/produkty/rucni-jeřaby.aspx>
- [3] *GIGA* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: [http://www.gigasro.cz/files/katalogy/giga\\_chain\\_hoists\\_catalogue\\_-\\_2010.pdf](http://www.gigasro.cz/files/katalogy/giga_chain_hoists_catalogue_-_2010.pdf)
- [4] *Ferona* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
- [5] *SKF* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/spherical-roller-bearings/index.html?designation=22310+E&unit=metricUnit>
- [6] ČSN EN 13001-1. Jeřáby - Návrh všeobecně: Část 1: Základní principy a požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [7] ČSN EN 13001-2. Jeřáby - Návrh všeobecně: Část 2: Účinky zatížení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [8] ČSN EN 13001-3-1+A1. Jeřáby - Návrh všeobecně: Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí. Praha: Česky normalizační institut, 2013.
- [9] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Miloš Vlk. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [10] *Ekvivalentní statické zatížení ložiska* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: Ekvivalentní statické zatížení ložiska
- [11] *Potřebná statická unostnos* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/selecting-bearing-size/static-load-carrying-capacity/required-basic-static-load-rating/index.html>
- [12] *Rolny pro velká zatížení* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/podpurne-rolny/>
- [13] *Polyuretanové kolo 160 mm otočná vidlice* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <https://www.zabi.cz/polyuretanove-kolo-160-mm-otocna-vidlice-42zp>
- [14] *Nárazníky* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: [http://www.conductix.cz/cz/produkty/narazniky?parent\\_id=6960](http://www.conductix.cz/cz/produkty/narazniky?parent_id=6960)





## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\bar{X}_{ang}$	[rad]	Úhlové přemístění
$\bar{X}_{lin}$	[m]	Průměrné přemístění
$\Delta\sigma_c$	[MPa]	Charakteristická únavová pevnost detailu
$\Delta\sigma_{Rd}$	[MPa]	Návrhový rozkmit napětí
$\Delta\sigma_{Sd}$	[MPa]	Největší rozkmit návrhových napětí
$\gamma_{mf}$	[-]	Dílčí součinitel únavové pevnosti
$\sigma_u, \sigma_h$	[MPa]	Krajní hodnoty návrhového napětí
$F_{arol}$	[N]	Radiální síla na jednu rolnu
$F_{op}$	[N]	Odstředivá síla od protivýložníku
$F_{ov}$	[N]	Odstředivá síla výložníku
$J_z$	[mm <sup>4</sup> ]	Celkový osový kvadratický moment účinného průřezu
$J_{zs}$	[mm <sup>4</sup> ]	Celkový osový kvadratický moment účinného průřezu svaru
$J_{zu}$	[mm <sup>3</sup> ]	Jednotkový kvadratický moment účinného průřezu
$J_{zus}$	[mm <sup>3</sup> ]	Jednotkový kvadratický moment účinného průřezu
$M_{klb}$	[N·m]	Klopný moment při postavení na kolech bez závaží
$M_{kln}$	[N·m]	Klopný moment
$M_{klp}$	[N·m]	Klopný moment při postavení na kolech a ponechání závaží
$M_{klz}$	[N·m]	Klopný moment
$M_{vyz}$	[N·m]	Klopný moment
$M_{vyb}$	[N·m]	Vyrovňovací moment při postavení na kolech bez závaží
$M_{vyn}$	[N·m]	Klopný moment
$M_{vyp}$	[N·m]	Vyrovňovací moment při postavení na kolech a ponechání závaží
$a_{kl}$	[m·s <sup>-2</sup> ]	Zrychlení pojezdového ústrojí
$a_z$	[m·s <sup>-2</sup> ]	Zrychlení pohonu zdvihu
$f_{Rd \sigma}$	[MPa]	Normálové napětí
$f_{Rd \tau}$	[MPa]	Smykové napětí
$f_{w,Rd}$	[MPa]	Návrhová únosnost svaru
$i_{13d}$	[N]	Zatížení při dynamické zkoušce
$i_{13s}$	[N]	Zatížení při statické zkoušce
$i_{14}$	[N]	Nárazová síla
$i_{4sz}$	[N]	Setrvačná <b>od pohonu zdvihu</b>
$i_{4sp}$	[N]	Setrvačná síla

$m_{zp}$	[kg]	Hmotnost závaží na protivýložníku
$\tau_1$	[MPa]	Smykové napětí od posouvající síly
$\tau_{1s}$	[MPa]	Smykové napětí od posouvající síly
$\tau_{1s}$	[MPa]	Smyková síla od působícího momentu
$\tau_2$	[MPa]	Smykové napětí od působícího momentu
$\tau_2$	[MPa]	Výsledné smykové napětí ve svaru
$\tau_{s1}$	[MPa]	Návrhové napětí ve svaru
$\omega_v$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	Otáčení výložníku
$\emptyset_1$	[-]	Součinitel pro účinky tíhy, které působí na hmotnost jeřábu
$\emptyset_2$	[-]	Součinitel pro účinky setrvačnosti a gravitačního zrychlení
$\emptyset_{2,min}$	[-]	Součinitel pro typ pohonu HC3
$\emptyset_3$	[-]	Součinitel pro náhlé uvolnění částí břemene
$\emptyset_5$	[-]	Součinitel pro zatížení způsobená zrychlením pohonu
$\emptyset_{6D}$	[-]	Součinitel dynamického zkušebního zatížení
$\emptyset_{6S}$	[-]	Součinitel statického zkušebního zatížení
$\emptyset_7$	[-]	Součinitel zatížení způsobený silami na nárazníky
$A$	[cm <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu
$a$	[mm]	Výška svaru
$a_1$	[m]	Rameno výložníku
$a_2$	[m]	Rameno výložníku
$a_{r1}$	[mm]	Účinná výška svaru
$b$	[mm]	Šířka příruby
$B$	[mm]	Šířka profilu
$b_1$	[m]	Rameno kladkostroje a břemena
$b_2$	[m]	Rameno kladkostroje
$C$	[-]	Celkový počet pracovních cyklů
$C$	[kN]	Základní dynamická únosnost
$c_1$	[m]	Rameno sloupu a základny, rameno závaží na sloupu
$c_2$	[m]	Rameno sloupu a základny, rameno závaží sloupu
$C_o$	[kN]	Základní statická únosnost
$D$	[mm]	Vnější průměr profilu sloupu
$d_1$	[m]	Rameno protivýložníku
$d_2$	[m]	Rameno protivýložníku

$D_{ang4}$	[-]	Řád harmonické složky
$D_{lin\ 3}$	[-]	Třída lineárního přemístění
$d_x$	[m]	Délková souřadnice sloupu
$e$	[-]	Výpočtový součinitel
$e_1$	[m]	Rameno závaží na protivýložníku
$e_2$	[m]	Rameno závaží na protivýložníku
$E_k$	[J]	Energie při zatížení silami na nárazníky
$F$	[cm <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu
$F_{aFC4}$	[N]	Axiální síla v přípoji FC4
$F_{rFC4}$	[N]	Radialní síla v přípoji FC4
$F_t$	[N]	Smyková síla (max. Rx v přípojích FC4)
$F_{t1}$	[N]	Smyková síla
$F_{t2}$	[N]	Smyková síla
$F_{xFC}$	[N]	Radialní síla v přípoji FC5
$f_y$	[MPa]	Mez kluzu materiálu
$G$	[kg/m]	Hmotnost výložníku
$h$	[mm]	Výška příruby
$H$	[mm]	Výška profilu
$i_1$	[-]	Zatížení od hmotnosti jeřábu
$i_2$	[-]	Zatížení břemena zdvihu
$i_{4o}$	[-]	Výsledná odstředivá síla
$I_t$	[cm <sup>4</sup> ]	Polární moment průřezu
$i_x$	[cm]	Poloměr setrvačnosti k ose ohybu x
$I_x$	[cm <sup>4</sup> ]	Moment setrvačnosti k ose ohybu x
$i_y$	[cm]	Poloměr setrvačnosti k ose ohybu y
$I_y$	[cm <sup>4</sup> ]	Moment setrvačnosti k ose ohybu y
$I_{yy}$	[cm <sup>4</sup> ]	Kvadratický moment průřezu
$i_{yy}$	[cm]	Poloměr kvadratického momentu průřezu
$I_{zz}$	[cm <sup>4</sup> ]	Kvadratický moment průřezu
$i_{zz}$	[cm]	Poloměr kvadratického momentu průřezu
$l_l$	[mm]	Účinná délka svaru
$l_l$	[m]	rameno kladkostoje
$l_2$	[mm]	Účinná délka svaru

$l_2$	[m]	rameno výložníku
$l_3$	[m]	rameno hmotnosti sloupu a závaží u paty sloupu
$l_4$	[m]	rameno protivýložníku
$L_p$	[m]	Délka vyložení protivýložníku
$L_v$	[m]	Délka vyložení výložníku
$m$	[-]	Konstanta sklonu křivky $\log \Delta\sigma - \log N$
$m_b$	[kg]	Hmotnost jmenovitého břemena
$m_{dyn}$	[kg]	Hmotnost zkušebního břemena pro dynamickou zkoušku
$M_{FC}$	[N·mm]	Ohybový moment v přípoji FC5
$M_{FC2}$	[N·mm]	Ohybový moment v přípoji FC1
$mH$	[kg]	Hmotnost břemena zdvihu
$m_k$	[kg]	Hmotnost konstrukce
$m_{kl}$	[kg]	Hmotnost kladkostroje
$m_p$	[kg]	Hmotnost protivýložníku
$m_s$	[kg]	Hmotnost sloupu a základny
$m_{stat}$	[kg]	Hmotnost zkušebního břemena pro statickou zkoušku
$m_v$	[kg]	Hmotnost výložníku
$M_{vyz}$	[N·m]	Vyrovňovací moment
$m_z$	[kg]	Hmotnost závaží
$m_{zp}$	[kg]	Hmotnost závaží naproti výložníku
$m_{zs}$	[kg]	Hmotnost závaží u paty sloupu
$N$	[MPa]	Napětí podle HMM
$\emptyset$	[-]	<b>Dynamický součinitel zdvihání</b>
$P_1$	[-]	Třída umístění břemen
$p_1$	[m]	Rameno výložníku
$p_2$	[m]	Rameno kladkostroje
$p_3$	[m]	Rameno hmotnosti sloupu a závaží u paty sloupu
$p_4$	[m]	Rameno protivýložníku
$p_5$	[m]	Rameno závaží na protivýložníku
$P_o$	[N]	Ekvivalentní statické zatížení ložiska
$P_u$	[kN]	Mezní únavové zatížení
$Q_2$	[-]	Třída četnosti výskytu zatížení otočných jeřábů
$r$	[mm]	Poloměr vnitřního zaoblení

$R$	[N]	Síly v reakcích
$R_d$	[N]	Únosnost
$r_s$	[mm]	Vnější poloměr sloupu
$s$	[mm]	Tloušťka stojiny
$s_0$	[-]	Součinitel statické bezpečnosti
$S_1$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha účinného průřezu svaru
$S_2$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha účinného průřezu svaru
$S_d$	[N]	Návrhové síly
$S_m$	[-]	Parametr historie napětí
$t$	[s]	Doba rozběhu pojezdového ústrojí
$t$	[mm]	Tloušťka příruby
$T$	[mm]	Tloušťka profilu
$U_6$	[-]	Třída pracovního cyklu
$V_h$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Nejvyšší ustálená rychlost zdvihu
$v_{kl}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Maximální rychlost pojezdového ústrojí
$v_z$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost zdvihu kladkostroje
$W_{elyy}$	[cm <sup>3</sup> ]	Pružný modul průřezu
$W_{elzz}$	[cm <sup>3</sup> ]	Pružný modul průřezu
$W_{plyy}$	[cm <sup>3</sup> ]	Plastický modul průřezu
$W_{plzz}$	[cm <sup>3</sup> ]	Plastický modul průřezu
$W_x$	[cm <sup>3</sup> ]	Průřezový modul k ose ohybu x
$W_y$	[cm <sup>3</sup> ]	Průřezový modul k ose ohybu y
$Y_0$	[-]	Výpočtový součinitel
$Y_0$	[-]	Součinitel axiálního zatížení ložiska
$Y_1$	[-]	Výpočtový součinitel
$Y_2$	[-]	Výpočtový součinitel
$\alpha$	[°]	Úhel mezi rolnama
$\alpha_w$	[-]	Součinitel typu svaru, druhu napětí a materiálu
$\beta_2$	[-]	Součinitel pro zdvihovou třídu HC3
$\beta_3$	[-]	Součinitel náhlého uvolnění břemene
$\gamma_m$	[-]	Součinitel bezpečnosti materiálu
$\delta$	..	....
$\Delta mH$	[kg]	Uvolněná část břemene zdvihu

$\sigma_b$	[MPa]	Spodní krajní hodnota rozkmitu napětí
$\sigma_u$	[MPa]	Horní krajní hodnota rozkmitu napětí
$\sigma_u - \sigma_b$	[MPa]	Rozkmit napětí
$\tau$	[MPa]	Smykové napětí

## SEZNAM PŘÍLOH

### Výkresová dokumentace

<b>Sestava ocelové konstrukce</b>	<b>DP-01-A1</b>
<b>Sestava otočného ramene</b>	<b>DP-02-A1</b>
<b>Sestava sloupového jeřábu</b>	<b>DP-03 -A0</b>